Public Works Canada
Travaux publics Canada

Architectural and Engineering Services
Services d'architecture et de génie

Building Performance Evaluation Series

Roofing Systems Evaluation

Document D41

Canada

Building Performance Evaluation Series

Roofing Systems Evaluation

Document D41

AES 1-4:86-50

March 1988

The contents of this document represent the views of the authors and are not necessarily the views or policies of the Department of Public Works.

The Minister of Public Works makes no representation or warranty, express or implied, with respect to this publication or the programs or information described in this publication, their quality, merchantability, or fitness for any particular purpose, or their adequacy to produce any particular result. In no event shall the Minister or Her Majesty the Queen in right of Canada, Her employees, servants or agents be legally liable to any person or persons for any damage, whether direct, indirect or consequential, resulting from the use of said publication or the programs or the information contained therein.

Published by Architectural and Engineering Services
Public Works Canada

Public Works Canada / Travaux publics Canada

DOCUMENT DATA

1. Document Title ROOFING SYSTEMS EVALUATION	2. Control Number AES/SAG 1-4:86-50
	3. Date March 1988
4. Author(s) Institute for Research in Construction National Research Council of Canada	5. Consultant's Ref. No.
6. Project Manager	7. Discipline Series No. D41
8. Preparation Agency and Address Building Performance Division, Public Works Canada Room C-456, Sir Charles Tupper Building Riverside Drive, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Telephone: (613) 998-7830	9. Document Type Guideline
	10. No. of Pages 24
11. Sponsoring Agency and Address D.C. and R.T. Appropriated Programs Accommodation Branch	12. PWC File No. A4270-16
	13. PWC Project No. 602055
14. Supplementary Notes Questions and comments should be directed to the preparation agency, in 8 above.	15. SSC Publication No.
	16. ISBN

17. Abstract

Roofing systems are constantly under attack from the environment; few other building assemblies are exposed to conditions as harsh during their service life. To minimize deterioration, the roofing materials have to be suitably resistant or protected; their design and their installation are important. A periodical inspection should take place to identify and repair potential problem areas before the deterioration progresses too far.

Information on inspection, evaluation, and maintenance planning techniques for low-slope roofs are provided in this report. Other information related to roofing systems and materials in use today is also given in order to obtain a proper understanding of their behaviour.

18. Distribution Statement Copies are available from: Documentation Centre Architectural & Engineering Services Public Works Canada Sir Charles Tupper Bldg., Riverside Dr. Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Keywords	
	20. Documentation Centre Catalogue No. BP D41	21. Price

TABLE OF CONTENTS

1.	**INTRODUCTION**	1
1.1	Purpose and Objectives	1
1.2	Background Information	1
2.	**TERMS OF REFERENCE**	3
2.1	The Roofing Systems	3
2.1.1	The Conventional System	3
2.1.2	The Protected Membrane Roofing System (PMR)	3
2.2	The Membranes	3
2.2.1	The Built-up Roof Membrane (BUR)	3
2.2.2	The Single Plies	4
	a) Loose-laid and ballasted	5
	b) Partially attached	5
	c) Totally adhered systems	5
2.2.3	The Materials	5
	a) Synthetic thermoplastics	5
	b) Thermosetting vulcanized elastomers	6
	c) Modified bitumens	6
2.3	Insulations	7
2.3.1	Fibrous Glass	7
2.3.2	Phenolic Foam	7
2.3.3	Polystyrene	7
	a) Expanded board	7
	b) Extruded board	8
2.3.4	Polyurethane/Polyisocyanurate (PU/PI)	8
2.3.5	Wood Fiber	8
2.3.6	Composite Boards	9
2.3.7	Thermal Resistance of Roofing Insulations	9
2.4	Vapour Retarders	9
2.5	Air Barriers	9
2.6	The Roof Deck	9
2.7	Parapet Walls	10
2.8	Drainage	10
2.9	Joints	11
2.9.1	Expansion Joint	11
2.9.2	Roof Dividers	11
3.	**METHODOLOGY**	12
3.1	Stage I - Preliminary Assessment (Introduction)	12
3.1.1	Expert Walkthrough Analysis	12

3.1.1.1	Description of Techniques	12
3.1.1.2	Detailed Procedure	12
	a) Flashings	12
	b) Membranes	13
	i) Conventional BUR	13
	ii) Modified Bitumens	14
	iii) PVC Membranes	14
	iv) EPDM's	14
	v) Protected Membrane Roofing (PMR)	14
3.1.1.3	Assessment	15
3.1.1.4	Resource Allocation and Timing	15
3.1.1.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	15
3.1.2	Plan and Archive Analysis	15
3.1.2.1	Description of Techniques	15
3.1.2.2	Detailed Procedures	16
	a) Structure	16
	b) Mechanical	16
	c) Thermal Resistance	16
3.1.2.3	Resource Allocation and Timing	16
3.1.2.4	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	16
3.2	Stage II - Simple Measurement Techniques - not applicable	
3.3	Stage III - Specialized In-Depth Monitoring	17
3.3.1	Description of Techniques	17
3.3.2	Detailed Procedures	17
3.3.2.1	Destructive Techniques	17
3.3.2.2	Non-Destructive Techniques	17
4.	**REFERENCES**	19
5.	**APPENDICES**	21
5.1	Description of Various BUR Membrane Defects or Failures	21
5.2	Optimum Thermal Resistance for Roofing Systems	22
5.3	Building Performance Evaluation Document List	24

LIST OF TABLES

2.2.1	Types of Asphalt	4
2.3.1	Average Resistance of Various Insulating Products Available in Canada	9

1. INTRODUCTION

1.1 PURPOSE AND OBJECTIVES

Built-up roofs (BUR), during the first half of this century, were usually installed directly over a wood or concrete deck with any insulation placed below the deck. After the Second World War, placing insulation above the deck followed by the membrane became popular and the technique worked reasonably well. This was the period of the "bonded roof" when the manufacturer provided the owner with a 15 or 20 year bond. In the 1960's and 70's, the industry began to expand with plastic insulations and different types of felts (organic, glass and asbestos) competed for the market. But roofing did not captivate the imagination, research was sporadic and designers merely followed manufacturer's details and recommendations. Labourers, on the other hand, received on-the-job training from people who were not always qualified in the "art" of installing a good roof. Problems began to plague the industry.

Things have changed in the past ten years. Single plies are establishing themselves as worthy alternatives to the BUR and newer, more energy efficient insulations are being developed. Trade associations are being formed to set minimum standards, to undertake research of a common interest and to improve the transfer of information. Roofing, as a result, is rapidly becoming a technology-based industry.

Roofing, however, is a building material that is constantly under attack from the elements as well as from the various activities required for the operation of a building. In order to perform as expected, a roof must be maintained properly and this is only possible if it is inspected on a regular basis. Otherwise maintenance work is relegated to the status of emergency measures resulting in the rapid deterioration of the system.

The purpose of this report is to provide the reader with information on techniques which can be used to inspect and evaluate existing roofing systems for low-slope roofs and to plan maintenance activities. It also provides information on roofing systems and materials in use today since this information is necessary to obtain a proper understanding of their behaviour. The information is also useful when deciding which problems can be repaired successfully and which may require more drastic measures.

In 1985, a roofing survey encompassing some 104 buildings selected from all regions of Public Works Canada brought out the fact that most of the roofs which were examined showed evidence of problems. One of the recommendations contained in the report stressed the need to coordinate and organize roofing maintenance on a long term basis. The same year, PWC issued an amended version of its Roof Inspection and Maintenance document No 6.330.5. Both documents are included in the reference list at the end of this document.

1.2 BACKGROUND INFORMATION

Few building assemblies are exposed to conditions as harsh as those imposed by the elements on a roofing system during its life. During the summer, solar radiation can

raise the temperature of an exposed membrane to 70°C and nighttime radiation to a clear sky can lower it to 10°C. In winter, the daily changes, while not as large, take place at low temperatures when the material has lost some of its elasticity. Ultraviolet radiation can also cause rapid deterioration in materials which are not resistant or suitably protected. Roofing membranes are also exposed to frequent and sometimes permanent wet conditions in summer. In winter, snow and more particularly, ice standing on a roof, can cause problems.

Roofs are also exposed to pedestrian traffic since equipment mounted on the roof must be serviced, windows washed and plant and equipment altered.

Products such as grease, oils, solvents and assorted chemicals may be spilled on the membrane without being wiped nor reported. As a result, the roofing may deteriorate gradually or may suddenly spring a leak. For all these reasons, it is important that the roofing should not only be properly designed and installed but periodically inspected as well, so as to identify and repair potential problem areas before the deterioration progresses too far.

2. TERMS OF REFERENCE

2.1 THE ROOFING SYSTEMS

Two types of roofing systems are commonly used in low slope insulated roof construction and the important difference between the two is in the positioning of the waterproofing membrane.

2.1.1 The Conventional System

The membrane is placed over the insulation where it is exposed to large changes in temperature, to solar radiation and to possible damage from traffic. When the membrane is visible (as opposed to being covered with ballast) it can be inspected easily and minor repairs done quickly. The insulation is usually protected from moisture from within the building by a vapour retarder.

2.1.2 The Protected Membrane Roofing System (PMR)

The membrane is installed on the deck and under the insulation. It is thus maintained at a fairly constant temperature and protected from solar radiation and mechanical damage by the insulation. The insulation is generally held in place with ballast. The amount of ballast required to prevent flotation in case of ponding is 60 kg/m² for the first 50 mm of insulation, then 25 kg/m² for each additional 25 mm. A lightweight system, incorporating a woven fabric between the insulation and the ballast requires only 50 kg/m² of ballast regardless of the amount of insulation. A 1200 mm wide strip around the roof perimeter where flotation cannot be permitted must be loaded as for a fully ballasted system described above. The insulation itself must not be affected physically and thermally by water.

Since the membrane is covered by the insulation and ballast, inspection of the membrane cannot be carried out on a regular basis and roof leaks may be difficult to pin-point and to repair.

2.2 THE MEMBRANES

For many years, the traditional membrane consisted of the built-up roof (BUR). In the mid 1970's, new single ply membranes began to appear on the market and are competing successfully with the BUR. Many of these were developed in Europe and much of the Research and Development (R&D) involved was carried out under climatic conditions different from those which prevail in Canada. As a result, some were found wanting very early on, others have performed quite well. A brief description of the more popular types of membrane in use today is given later in this document.

2.2.1 The Built-up Roof Membrane (BUR)

This usually consists of four plies of roofing felts applied shingle fashion in a full mopping of bitumen. Two types of felts are in general use today i.e.organic (wood fibers) and glass fibers. Two types of bitumen are also available, asphalt and coal-tar

pitch, though asphalt which is the residue of the distillation of crude oil is the more widely used. The softening point of asphalt is raised by oxidation and 3 types of asphalt with different softening points are produced, allowing asphalt to be used on roofs with slopes ranging from dead level (not recommended) to a maximum of 1 in 2 (see Table 2.2.1). Coal-tar pitch should not be used if the slope exceeds 1 in 25.

Type	Softening Point °C	Roof Incline
1	60 - 68	Less than 1:16
2	75 - 83	1:16 to 1:8
3	90 - 98	1:8 to 1:2

Table 2.2.1: Types of Asphalt

Interply asphalt is applied at the rate of 1.0 kg/m² when installing organic felts and 1.2 kg/m² with fiberglass felts. Tolerance should not exceed 25%. To facilitate its application, asphalt should be heated in a kettle until it reaches its ideal temperature of application called the Equiviscous Temperature or EVT as determined by the supplier.

The BUR, when used in the conventional system, is subject to tensile stresses in cold weather and the membrane may contract unless adequately restrained. This contraction can result in permanent shrinkage. It is thus necessary to adhere all the components together and to the deck in order to hold the membrane in place. Mechanical fasteners are sometimes used to attach the insulation to steel or wood decks.

Factory Mutual, in fact, requires that insulation installed over steel decks be mechanically fastened in accordance with their standards. The decision was taken a couple of years ago when it became clear to them that adhesives used to attach insulations to steel decks could not always be relied upon to do the job. While some designers claim that the practice punctures the vapour retarder, the placing of a vapour retarder directly over a corrugated steel deck should also be questioned because of difficulties often encountered during its installation. When the design calls for a vapour retarder, a gypsum board or other such material should first be fastened to the deck so as to provide a smooth and continuous bearing surface for its installation.

The four plies in a conventional system are coated with asphalt applied at the rate of 3.0 kg/m² into which is placed a protective layer of gravel at the rate of 20 kg/m².

When used in the protected system, the BUR is coated with 3.4 kg/m² of asphalt applied in two separate applications of 2.2 and 1.2 kg/m² respectively. Gravel is not required since the insulation is placed over the membrane.

2.2.2 The Single Plies

Though single plies are so called, not all are installed as a single sheet. These membranes fall into three broad categories, i.e. plastic and rubber sheets joined along their edges to form a continuous membrane and rubber modified bitumens which are usually fully adhered to a base sheet which is in turn adhered to the insulation or roof

deck to form a two ply membrane. Most of these membranes can be used in either the conventional or protected membrane system though some are restricted to the PMR.

The single ply plastic or rubber sheets, when used in the conventional system, can generally be installed in one of three ways, i.e. loose-laid and ballasted, partially attached or totally adhered.

a) Loose-laid and ballasted

The membrane is simply laid over a smooth substrate and attached at the perimeter and at penetrations through the roof. It is then weighted down against wind uplift and flutter by a layer of round gravel weighing a minimum of 50 kg/m².

b) Partially attached

Various techniques are used to mechanically attach the membrane to the deck. In some instances the fasteners are driven through the membrane and covered by a sealing strip, in others the fastening takes place along the edge of one of the sheets before the jointing of the adjacent one which when completed covers the row of fasteners, or the membrane may be spot-adhered to discs installed before the membrane. Because the membrane is not covered with gravel, flutter can occur around the fasteners in high winds which can result in material fatigue. Since the mechanical fasteners are driven through the insulation, the vapour retarder and often through the air barrier, the designer must verify that the performance of the roofing system will not be adversely affected by all the holes and thermal bridges.

c) Totally adhered systems

Hot asphalt, cold cut-back asphalts, or other cold adhesives and contact cements are used, depending on the materials, to uniformly adhere the membrane to the substrate. If the substrate is insulation, it in turn, must be adhered to the vapour barrier and to the deck.

When used in the protected system, the single sheet is generally loose-laid, covered with insulation followed by the ballast.

2.2.3 The Materials

a) Synthetic thermoplastics

Three different materials are generally included under this heading they are Polyvinyl Chloride (PVC), Chlorinated Polyethelene (CPE) and Polyisobutylene (PIB).

- PVC – Can be manufactured as a reinforced (glass fiber or polyester) or unreinforced sheet usually about 1.2 mm thick. Sheets are heat welded together in the field to form a continuous membrane. Solvent based adhesives can also be used. Unreinforced PVC is subject to shrinkage due

to stress relaxation (up to 2% in both directions). This may disrupt the edge flashings unless provided for during the detailing and installation of the membrane. Loss of plasticizers can also occur due to solar heating and consequently stabilized plasticizers should be used. PVC should not be placed in contact with polystyrene or asphalt impregnated insulations because of chemical interaction. If a PVC membrane is to be installed over a plastic or asphalt impregnated insulation, the insulation should be covered first with a plain fiber board or other inert material to separate the two. PVC has good resistance to the weather and to chemicals but is affected by coal-tar, asphalt, oils and animal fats. PVC can be installed loose-laid and ballasted, mechanically fastened or fully adhered.

- CPE – (chlorinated polyethelene) does not require plasticizers to give it flexibility and thus is less vulnerable to weather and chemical attacks. It is also compatible with bitumens. Seams are heat welded and the membrane is loose-laid, adhered or mechanically fastened.

- PIB – Polyisobutylene is a thermoplastic copolymer incorporating carbon black and aging protectors. It has good weather resistance and low temperature flexibility. PIB is vulnerable to creep unless reinforced with a backer. Manufactured thickness is usually about 1.5 mm exclusive of backer. Laps are sealed with a bonding tape or by solvent welding. Sheets can be loose-laid and ballasted or adhered using hot or cold bitumen.

b) Thermosetting vulcanized elastomers

This grouping contains such names as Poly-chloroprene (neoprene) Chlorosulfonated polyethelene (hypalon) and butyl rubber, but the material most commonly used in roofing is Ethylene propylene diene monomer (EPDM).

- EPDM – is compounded from hydrocarbons copolymerized with dienes then vulcanized into a fully cured rubber. EPDM is especially resistant to ozone and ultraviolet light. Available in thicknesses of 1 to 1.5 mm, the laps are joined together with contact cement or uncured EPDM rubber tapes. EPDM is not resistant to petroleum products. It can be loose-laid and ballasted,mechanically fastened or fully adhered.

c) Modified bitumens

They usually consist of asphalt which is modified with the addition of a polymer, the two best known polymers being styrene butadiene styrene (SBS) and atactic polypropylene (APP). Various fillers and oils are added. Modified bitumens are applied either in liquid form (molten) or as a manufactured sheet.

- Hot applied rubberized asphalt is heated in a kettle then poured on the deck (either concrete, plywood or gypsum) to form a continuous membrane 4 – 5 mm thick. Good practice calls for the material to be applied in two layers with a reinforcing fabric placed between the two. The material has

poor UV resistance and its use is limited to the PMR where it is protected from the sun by insulation placed over it. A separation sheet must be used between the membrane and the insulation to prevent the insulation from adhering to it.

- Modified bituminous sheets. The membrane consists of two plies with the first sheet set in hot asphalt and the top ply heat welded using a propane torch or set in hot asphalt. Some sheets are self adhering and are manufactured with a paper backing which must be removed before installation. Sheet materials are usually reinforced with a fiberglass or polyester fabric though some are manufactured using carriers such as plastic films, mats or foils. Sheets exposed to the weather must be protected from ultraviolet light. This protection may consist of a coloured granular material or a metal foil applied during fabrication or a field applied coating or aggregate.

2.3 INSULATIONS

A number of insulations for use in the various roofing systems described previously are manufactured in Canada. Because their composition differs considerably, so do their physical properties. All exhibit certain particularities which must be taken into account when using them, if problems are to be averted during construction and afterwards.

2.3.1 Fibrous Glass

Consists of fine glass fibers cemented together and compressed to the desired density to achieve the required compressive strength and thermal resistance. The insulation is covered with a kraft paper and asphalt saturated felt to allow mopping of hot asphalt. The insulation can be adhered to its substrate with hot asphalt or cold adhesives. Meets Factory Mutual 1 – 90 classification and applicable to construction assemblies of the Underwriters' Laboratories of Canada (ULC).

2.3.2 Phenolic Foam

The product of a phenol formaldehyde resin expanded by means of a blowing agent is a lightweight cellular material with excellent fire resistance characteristics. Its affinity for moisture which causes it to cup when exposed to the warm sun initially proved troublesome and was blamed for certain ridging problems. It is now produced in three sections joined together by a corrugated facing and this has reduced the cupping problem while improving flexibility. Has Factory Mutual Class 1 acceptance and is listed by ULC.

2.3.3 Polystyrene

a) Expanded board

Often referred to as bead board, it consists of polystyrene particles expanded into beads using a blowing agent. The beads are heated together in a mold causing them to expand further to fill the interstices and to fuse together

forming a board. Polystyrene cannot withstand temperatures higher than 105°C to 110°C and, when used with a BUR or a torched–on Modified Bitumen, it must be covered with a wood fiber board or other heat resistant insulation applied by the mop and flop technique to protect it from the hot asphalt. Polystyrene is also dissolved by the solvents used in some cold adhesives and their selection must be done carefully.

b) Extruded board

Produced by extruding a molten polystyrene–based compound containing a blowing agent through a slit orifice at high temperature and under pressure. Like bead board, extruded polystyrene has poor heat resistance and must be protected by a wood fiber board when used under a BUR or Modified Bitumen Membrane. Because of its close cell structure, however, extruded polystyrene has good moisture resistance and is the only product recommended for use in the PMR. Polystyrene is not resistant to ultraviolet radiation and must be covered when used in the PMR. When used over a steel deck, polystyrene insulation must be installed on a gypsum board in order to be protected by a thermal barrier.

2.3.4 Polyurethane/Polyisocyanurate (PU/PI)

These two foams are produced by the reaction of a polyol and a polyisocyanurate in the presence of a catalyst, a blowing agent and a surfactant. The reaction conditions determine whether the polymerization produces polyisocyanurate or polyurethane polymers. Polyisocyanurate insulations have greater thermal stability and lower flammability characteristics than polyurethanes and appear to gain in popularity as a roofing insulation. Blistering between the insulation and a BUR membrane has been a problem on many projects and the industry now recommends that it be capped with a fiberglass or wood fiber insulation prior to the application of a BUR or a torched–on Modified Bitumen membrane.

PU/PI insulations are closed cell foams which use a fluorocarbon (refrigerant gas) as a blowing agent. As a result, their initial thermal resistance is much higher than that of other insulations. With time, however, the gas diffuses outward and is replaced by air resulting in a lowering of its resistance. In an attempt to slow this process the material is usually faced with a foil paper but the exposed edges still allow for the passage of the gas.

2.3.5 Wood Fiber

Insulation consisting of wood fibers is processed into a homogeneous board. Because of its low thermal resistance, it is seldom used now as a roof insulation but finds wide acceptance as a cap sheet over other insulations such as polystyrenes and polyurethanes to protect them from the high temperature associated with BUR's and Modified Bitumens or to protect PVC membranes from loss of plasticizers when placed directly over polystyrene insulations. In unheated buildings, it is often used to provide a smooth surface to support a membrane installed on a corrugated steel deck.

2.3.6 Composite Boards

Polystyrene and polyurethane boards are often manufactured with facers consisting of fiberboard, perlite board, or fiberglass. These facers are used to improve the heat and fire resistance of the product and eliminate the need to install them separately.

2.3.7 Thermal Resistance of Roofing Insulations

The following table provides a comparison of the average resistance of the various products available in Canada:

Material	Thermal Resistance RSI per 25 mm thickness
Fibrous glass	0.74
Phenolic foam*	0.76
Polystyrene	
a) expanded	0.70
b) extruded	0.88
Polyurethane/PU	1.00
Wood fiber board	0.49

* A closed cell phenolic foam using a refrigerant gas as blowing agent is now produced in the U.S. which is said to have a thermal resistance of 1.49.

Table 2.3.1 Average resistance of various insulating products available in Canada

2.4 VAPOUR RETARDERS

Insulation used in the conventional system usually has to be protected on the warm side from moisture contained in the air by the installation of a vapour retarder. This may consist of a two ply application of organic or glass felts with asphalt or coal–tar pitch or of any one of a number of one ply proprietary products often incorporating a foil paper or other material resistant to vapour diffusion and reinforced against tearing. Manufacturers of single ply membranes also manufacture vapour retarders which are compatible with their membranes and system.

2.5 AIR BARRIERS

Lack of continuity of the air barrier is now recognized as the main cause of many problems involving the wall/roof junction as well as at expansion joints. In a roofing system, a number of components can serve the role of air barrier such as the deck (if concrete), the membrane or the vapour barrier as long as these are structurally supported. The important thing to remember is that it must be continuous, joined to other air barriers, such as the walls where they meet, and sealed at all penetrations.

2.6 THE ROOF DECK

Amongst some of the properties that a deck must have are strength to support the superimposed loads, dimensional stability and rigidity to minimize movement, and a smooth surface suitable for roofing. A deck should also slope towards the drains.

The deck itself can be of concrete (either precast or cast–in–place), corrugated steel or wood. Joints in precast decks may require special attention because of their widths or possible movements.

Good practice generally calls for a gypsum board or a plywood to be installed over a metal deck before roofing. This may be mandatory in the case of the protected membrane system since the membrane must be properly supported in order to perform. It may be highly recommended in the case of the conventional system since installing a thin vapour retarder over a corrugated substrate may not give satisfactory results. Joints between gypsum board or plywood sheets may have to be taped to prevent loss of bitumen.

2.7 PARAPET WALLS

Masonry parapet walls are vulnerable to wind driven rain. Water entering into the building through these walls is often blamed on a failed roofing. A major reason, of course, is the large air pressure difference that exists across the parapet during a storm which drives water deep into the masonry. In order to minimize this effect, one face of the wall, usually the inside one, should be made airtight by coating it with a cement parging (two applications) or with a suitable membrane adhered to it. The top of the wall should also be made airtight either by installing a stone coping or by other means if it is protected by a metal cap flashing.

If the wall extends more than 300 mm above the roofing it should incorporate a through–wall flashing located just above the top of the membrane flashing. The coping stone or cap flashing must cover the entire width of the wall. It should slope inwards towards the roofing, extend beyond the inside face of the wall and incorporate a drip.

A rain screen installed on the inside face of a parapet wall will keep this face dry but will not reduce the amount of water entering the wall from the outside.

Joints between precast concrete panels can also be a source of problems. They should incorporate an air barrier to prevent the flow of air through the joint and a rain deflector on either face.

2.8 DRAINAGE

Roofs which pond water for long periods of time are more vulnerable to minor imperfections than those that drain rapidly. The best way to achieve good drainage is to slope the deck itself to a minimum of 1 in 50. Drainage on existing flat roofs can often be improved by relocating drains or installing new ones in low areas where water tends to collect. Tapered insulations and lightweight fills are also available to build slopes on existing flat roof but their use should be carefully studied.

Though the use of control flow drains should be avoided, local authorities sometimes require their use and this in turn may impact on the selection of the system and materials to be used. The insulation in a lightweight protected system may become

displaced if forced to rise through large distances, while a fully ballasted system will require additional ballast since submerged gravel loses about one third of its effective weight which must be compensated for.

2.9 JOINTS

Two types of joints are normally used on roofs, i.e. an expansion joint and a roof divider.

2.9.1 Expansion Joint

Used when the designer calls for an expansion joint in the building. Such joints divide the roof into two or more distinct areas. An expansion joint may, however, be used in other locations if the designer foresees that certain structural members may move differentially relative to the assemblies they are in contact with such as end rotation of deep members and vertical deflection of a deep truss close to a wall.

2.9.2 Roof Dividers

They are used in places where stresses in a membrane might concentrate and result in splitting such as at re-entrant corners, and change in direction of the deck. Roof dividers should also be installed when joining a new roof to an existing one or when joining different roofing materials.

Since stresses in a conventional BUR are independent of the size of the roof there is no need to divide a roof up in smaller areas unless an analysis of the structure and of the layout identifies areas of potential problems.

3. METHODOLOGY

3.1 STAGE I – PRELIMINARY ASSESSMENT

3.1.1 Expert Walkthrough Analysis (Introduction)

3.1.1.1 Description of Techniques

The method consists of a visual inspection of the upper portion of the walls and of the roof from the outside and of the underside of the deck from inside. Tools required to carry out such an inspection include a camera, measuring tapes, knife, pliers, screwdriver, a step ladder, clipboard and paper, push broom and shovel.

3.1.1.2 Detailed Procedure

The upper portion of the walls near the roof line may show efflorescence, freeze–thaw deterioration or displacement of materials. This may indicate air leakage from within, wetting from above because of defective flashing or absence of through–wall flashing. Displacement of materials may be the result of membrane shrinkage (materials pulled inwards or freezing of water (outward displacement)).

Roof leaks may show up on the underside of the roof as stains on the ceiling, streaks on the exterior walls, rust on the steel deck or supporting structure or efflorescence around cracks in a concrete deck. If leaking has occurred recently, the staff will be able to identify the location.

Moisture on the underside of the deck may also result from the combination of high relative humidity inside and wet insulation above the roof deck.

The examination from above the roof must be geared to the particular system and materials used in the assembly.

a) **Flashings** constitute the most vulnerable component of any roofing system and a visual inspection of all flashings should be made to assess their condition. Most flashings are made up of two components: a base flashing which extends the membrane up a vertical face some 200 to 250 mm above the membrane, and a metal counterflashing which directs rainwater away from the top of walls and the top of membrane flashings. Determine that the metal flashings have not been displaced by wind, ice or thermal movement (cyclical heating and cooling). Check to see that flashings set in mortar joints are not pulling out. Since the base flashings are generally covered by metal flashings, their inspection is much more difficult. By pulling at the metal flashing with one hand and pushing the other under you may be able to feel the base flashing for a distance up the vertical face. You may thus be able to detect breaks, slippage or shrinkage of the membrane. Caulked joints are not recommended as a means of sealing flashings to other materials. However, if they are used they must be checked regularly. Pitch pans are used in conjunction with window washing rails and to waterproof around guy wires, etc. The level and general

condition of the bituminous compound in these pans must be checked at least once a year, preferably in the fall, since in winter, snow and ice which collects on the roof can raise the water level over the top of the pans.

b) **Membranes** – the inspection of membranes must take into account both the system and the material.

i) Conventional BUR. When first looking down on the roof, all one sees is the roofing aggregate ranging in size from about 3 to 16 mm in size embedded in a bitumen pour coat. Items to look for are the following (refer to Appendix 5.1 for a more detailed explanation):

- Ridging – a fold which appears in the membrane usually over a continuous joint in the insulation and in the machine direction of the felts.

- Splits – a break in the membrane which allows water into the building. Splits are difficult to find and it is necessary to use a push broom with stiff bristles to remove the roofing gravel and dust from the suspected areas.

- Blisters – Spongy air–filled areas which develop either between the plies or between the membrane and the insulation. Some blisters are visible to the eye, others are noticeable only when walking over them.

- Shrinkage – An inadequately attached system may be pulled away from the roof edges by the membrane which can develop strong tensile forces during cold weather. Check flashings for tears.

- Slippage – displacement of roofing felts down a slope because of too much interply asphalt or too low a softening point. Slippage usually shows up as a strip of black asphalt near the top of the slope. The width of the strip reflects the amount of movement.

- Wind scouring – removal of gravel from the surface of the membrane because of wind turbulence. Corners of buildings with low parapets are most vulnerable. This action exposes the asphalt to ultraviolet degradation and leads to alligatoring of the asphalt coating.

ii) Modified Bitumens. Defects generally show up quickly since the protective granule coating is thin and the side and endlaps are all exposed (except for materials requiring a gravel protection).

Inspect membrane for loss of granules since the modified asphalt will deteriorate if left exposed. The loss can be repaired by heating the membrane with a propane torch and sprinkling new granules.

Seams are critical. Check for fishmouthing and delamination especially where the sidelap of one sheet runs over an endlap in the adjacent ply.

Where the carrier is a thin metal sheet, check for any signs of delamination between bitumen and foil.

iii) PVC Membranes. PVC is affected by coal-tar pitch, asphalt and oils, check for the presence of these materials and ensure that no plastic cement is used in contact with the membrane or flashings. Pay special attention for petroleum products around roof top equipment.

Loss of plasticizers causes embrittlement and shrinkage which in turn may cause the membrane to split or to pull away from the perimeter of the roof. Shrinkage may also exert a lot of tension on the seams and tear them apart if not properly assembled.

If the PVC membrane is ballasted, push the gravel aside to expose some of the seams for inspection, then replace it. Corners should also be inspected for evidence of wind scouring. If scouring is extensive, replace gravel with concrete slabs in corners.

If the membrane is adhered to the substrate, check for signs of delamination. Record size and location of any loose areas and compare with the condition you will find during the next inspection. If areas have increased in size, wind and air pressures may be delaminating membrane from its substrate.

If the membrane is mechanically fastened, check around fasteners for signs of material fatigue. PVC membranes can also be punctured with sharp instruments. Areas especially vulnerable are around roof top equipment.

iv) EPDM's. Like PVC's are affected by petroleum products. Shrinkage, however, is not a factor and EPDM's are dimensionally stable. Seams are a major concern and should be inspected by attempting to pull them apart at various locations on the roof. Voids in polystyrene insulation under the membrane (if polystyrene insulation was used) may be due to spillage of lap cleaning fluid during installation since the solvents used in these fluids will dissolve the polystyrene.

If EPDM membrane is loose-laid and ballasted, check the corners for wind scouring and push gravel aside to inspect joints. If adhered, check size and location of any loose areas and if mechanically fastened, check for signs of loose fasteners caused by wind flutter.

v) Protected Membrane Roofing (PMR). It is difficult and sometimes impossible to inspect the membrane and base flashings of a PMR. Three systems can be encountered as follows:

1) a fully ballasted system on a BUR membrane. With this system the insulation will, in all likelihood, be adhered to the membrane making inspection virtually impossible.

2) a fully ballasted but loose-laid insulation over a hot applied rubberized asphalt membrane. A separation sheet such as a polyethelyne or a

roofing felt is required to be placed over the membrane to prevent adhesion of the insulation. In this case the membrane is accessible though the separation sheet will have to be cut and repaired after the inspection.

3) a lightweight system where the insulation is loose-laid but a fabric is placed between the ballast and the insulation to maintain the insulation in place in case of flotation. The membrane is accessible but the fabric will have to be cut and replaced with a larger piece (300 mm overlap all around) after inspection. Because of the work involved in removing the ballast etc,it is obvious that only a few areas can be inspected. Locations should be selected to allow inspection of other components at the same time such as flashings along the exterior walls.

If the system calls for full ballast, look for floating pieces of insulation and ask for ballast to be added to these areas. Check corners for wind scouring.

Report on general housecleaning such as tools, materials and debris left on the roof by maintenance personnel or contractors. Note areas where water appears to pond and locate areas on a sketch of the roof. Examine parapets and other walls extending above the roof. Look for through-wall flashings and weepholes in masonry walls. Examine mortar joints for deterioration and check walls for cracks. Joints between coping stones should be watertight. Evidence of freeze-thaw damage should be noted on the report.

3.1.1.3 Assessment

Using general roofing knowledge, assess performance of the roof from the point of view of design, installation and materials used. If an explanation is not readily available for a defect or unusual product behaviour, it may be necessary to undertake a more thorough investigation in order to determine the cause and correct the problem if necessary.

3.1.1.4 Resource Allocation and Timing

Depending on the complexity and degree of difficulty encountered, a trained roofing technologist should be able to inspect, document and prepare a report covering between 1000 to 2000 m² of roof per day.

3.1.1.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All information pertaining to observations and repairs should be recorded on a roof layout using 3 m x 3 m grid.

3.1.2 Plan and Archive Analysis

3.1.2.1 Description of Techniques

Using as-built roof plan, show all roof penetrations, roof flashing details and all roofing materials such as vapour retarder, type and thickness of insulation and type of

membrane. All roof top equipment should also be shown as well as the location of special walkways (roof treads) if applicable. Show flagpoles, window washing equipment and other masts.

Roofing inspection reports prepared at the time that the roofing was installed should be consulted and any unusual occurrence such as sudden showers, exceptional weather (very warm or very cold temperatures) and damage caused by other trades etc., which occurred during installation of roofing or construction of the building should be included along with a copy of the specifications. Record the name of the roofing contractor and those of his superintendent and foreman in case additional information is required in the future.

3.1.2.2 Detailed Procedures

a) Structure

A careful examination of the structural drawings should be made to determine the possibility of differential movement between components or excessive deflection of individual members. Verify that roof deck components are secured not only against wind uplift but also against lateral migration.

b) Mechanical

Verify that roof drains are of the size and in the location noted on the mechanical drawings. Buildings or portions of buildings with parapet walls with only one roof drain should be equipped with an overflow scupper in case the drain becomes blocked and the blockage is not discovered immediately.

c) Thermal Resistance

Draw a section of the roof, identify each one of the components, determine the thermal resistance of each one, then calculate the total resistance of the roof, including the resistance of the air films.

3.1.2.3 Resource Allocation and Timing

A building science expert will allow about two days to do a thorough analysis of the plans of a 4000 m² roof. More time may be required if the roof has a history of problems requiring the study of roof repair and maintenance records.

3.1.2.4 Documention: Creation and Retention of Working Papers

All information should be drawn on a roof plan and located with the help of a 3 m grid pattern.

3.2 STAGE II - SIMPLE MEASUREMENT TECHNIQUES

This section is not applicable.

3.3 STAGE III - SPECIALIZED IN-DEPTH MONITORING

3.3.1 Description of Techniques

Moisture trapped between the vapour barrier and the membrane in the conventional system can adversely affect the performance of the roofing in two ways:

a) wet insulation loses thermal efficiency resulting in increased heat loss, and
b) organic felts deteriorate when exposed to a combination of high temperatures and humidities which can produce splitting opposite joints in the insulation.

If a membrane or flashing is suspected of leaking or if a roof is known to leak, it may be necessary to evaluate the condition within the system by performing one or more in-situ tests. These tests fall into two categories i.e. destructive and non-destructive.

3.3.2 Detailed Procedures

3.3.2.1 Destructive Techniques

- **Cut Tests** are highly destructive but they can yield useful information. They allow a technologist to:

  a) assess the quality of adhesion between components;
  b) determine the softening point of the asphalt;
  c) estimate the total quantity of asphalt used by collecting the total amount of asphalt used in the felts, the interply moppings and the pour coat, and comparing them with the design quantity;
  d) determine the moisture content in the insulation.

A major problem is that a number of tests must be made in order to obtain a useful reading of the condition of the roof and the large holes cut in the roof, generally 300 mm diameter, are difficult to patch. The technique, in fact, can do more harm than good.

- **Resistance Probe**. Prongs attached to an electrical resistance moisture meter are pushed through the membrane into the insulation and a reading is recorded on the meter. In order for the operator to interpret the information that he is obtaining, the meter should have been calibrated before hand, using insulation similar to the one being tested. The prongs leave two small holes in the membrane which must be sealed.

- **50 mm Cores**. Samples are cut using a coring device available for this purpose. These cores are used to verify the presence of moisture as indicated by non-destructive techniques. Holes must be patched properly.

3.3.2.2 Non-Destructive Techniques

There are three non-destructive methods in general use to detect the presence of moisture in conventional roofing systems. The usefulness of these methods depends largely on the type of insulation used in the roof. Fibrous insulations such as wood and

glass absorb moisture more easily than do plastic insulations and the results obtained with these may be more conclusive. These three methods are generally described as providing useful results but tests carried out by the National Bureau of Standards in 1981 under controlled laboratory conditions demonstrated that nuclear and infrared provided consistently better results than capacitance. All three techniques are described briefly:

- **Nuclear Moisture Metering**. The technique consists in bouncing neutrons, released by a meter, off the hydrogen atoms present in the moisture in the insulation and recording the backscatter registered by the instrument. The higher the readings, the higher the hydrogen content. Since hydrogen atoms are also present in asphalt, variations in the quantity of interply asphalt from one grid point to the next will affect the readings. Measurements are made following a preset grid and plotted on a plan of the roof. The readings of similar intensity can be joined to delineate wet areas. Results should be verified by cutting core samples in areas indicated to be either wet or dry. Results can vary from indeterminate to excellent, and experience plays an important role in the assessment of the results.

- **Electrical Capacitance**. The equipment projects a static electrical field. The field is emitted and received by two flat plates resting on the membrane and takes the shape of an elongated "U". The technique works to a depth of about 100 mm but is more sensitive to water close to the surface. Since the resistance of the various materials is known when dry, measured changes in the dielectric properties of the system can be attributed to the presence of moisture in the materials. Capacitance readings are taken on the roof at preset points on grid lines.

The readings along with the description of the roofing system are forwarded to a central office where the information is fed into a computer for analysis. A report is then sent to the owner. Since the technique is proprietary in nature, very little quantifiable information has been published. Certain claims made by the proponents such as the ability to distinguish moisture content between all four plies in a BUR remain unsubstantiated.

Items which interfere with the proper operation of the technique include: water on the membrane, carbon black fillers in EPDM membranes and metal foils laminated to certain modified bitumens which distort the electrical field, also the stone ballast used on loose-laid systems which must be pushed aside before setting the equipment down.

- **Infrared**. Infrared scanners sense the temperature of the roof. Wet insulation usually increases heat loss thus raising the surface temperature of the roof. The instrument, however, does not provide meter readings but the results are presented as shades of brightness on a video monitor. Not only moist areas produce bright patterns on the screen, features such as chimneys, exhaust fans, ceiling mounted heaters, different types or thicknesses of insulation in the roof, areas over hot spaces or pipes can all show up on the screen and their influence considered when assessing the results. Areas known to contain wet insulation can be outlined on the membrane using a spray paint.

4. REFERENCES

Additional information can be obtained by reading the following publications.

Baker, M.C., **New Roofing Materials**. (Building Practice Note No. 50.) Ottawa: Institute for Research in Construction, National Research Council (NRC). 12 pages.

Baker, M.C., **Roofs. Design, Application and Maintenance**. Quebec, Montreal: Multiscience Publications Limited. 362 pages.

Public Works Canada, **Report on Survey of Flat Roofs**. Ottawa: Headquarters, Facilities Maintenance Policy, Property Administration. 1985.

Public Works Canada, **Roof Inspection and Maintenance**. (No. 6.330.5) Ottawa: Headquarters, Property Administration. 1985

The following Canadian Building Digests (CBD) can be obtained from the Institute for Research in Construction, National Research Council (NRC), Ottawa.

CBD 99 **Application of Roof Design Principles** (by G.O. Handegord and M.C. Baker)
CBD 150 **Protected Membrane Roofs** (by M.C. Baker)
CBD 151 **Drainage from Roofs** (by M.C. Baker)
CBD 176 **Venting of Flat Roofs** (by M.C. Baker and C.P. Hedlin)
CBD 179 **Inspection and Maintenance of Flat Roofs** (by C.P. Hedlin)
CBD 181 **Shrinkage of Bituminous Roofing Membranes** (by R.G. Turenne)
CBD 202 **Joints in Conventional Bituminous Roofing Systems** (by R.G. Turenne)
CBD 211 **Bituminous Roofing Membranes – Practical Considerations** (by R.G. Turenne)
CBD 235 **Single Ply Roofing Membranes** (by H.O. Laaly and O. Dutt)

The following standards can be referenced when specifying materials:

Bitumen

CSA A123.4–M1979 **Bitumen for use in Construction of Built-up Roof Coverings etc.**

Felts

CSA A123.3–M1979 **Asphalt or Tar Saturated Roofing Felt**

Insulation

CSA A247–M1978 **Insulation Fibreboard**
CGSB 51–GP–20M **Expanded Polystyrene**
CGSB 51–GP–21M **Urethane and Usocyanurate, Unfaced**
CGSB 51–GP–25M **Phenolic, Faced**
CGSB 51–GP–26MP **Urethane and Isocyanurate, Faced**

Membranes

CGSB 37–GP–50M	**Asphalt, Rubberized, Hot Applied, for Roofing and Waterproofing**
CGSB 37–GP–51M	**Application of Rubberized Asphalt, Hot Applied, for Roofing and Waterproofing**
CGSB 37–GP–52M	**Roofing and Waterproofing Membrane, Sheet Applied, Elastomeric**
CGSB 37–GP–54M	**Roofing and Waterproofing Membrane, Sheet Applied, Flexible, Polyvinyl Chloride**
CGSB 37–GP–55M	**Application of Sheet Applied Flexible Polyvinyl Chloride Roofing Membrane**
CGSB 37–GP–56M	**Membrane, Modified Bituminous Prefabricated and reinforced for Roofing**

5. APPENDICES

5.1 DESCRIPTION OF VARIOUS BUR MEMBRANE DEFECTS OR FAILURES

Ridging – a fold which appears in the membrane, usually over a continuous joint in the insulation and in the machine direction of the felts. Ridges result from the combination of cyclical expansion and contraction of the membrane due to heating and cooling and the application of excessive amount of interply asphalt which results in interply slippage. Roofs installed in cold weather, because of rapid cooling of the asphalt, are more likely to ridge than those placed in warm weather. Note that specifications generally provide a tolerance of 25% for asphalt quantities but field measurements have sometimes given results in the +75% to 100% range. Little can be done about repairing ridges at least in their early stages. A mature ridge, however, will split and should be cut out and the membrane repaired before it does.

Splits – As the name implies, a split is a break in the membrane. Splits often occur in cold weather though their presence may not be noticed until the weather warms up. Most splits, like ridges, occur over continuous joints in the insulation corresponding to the machine direction of the felts.

It has been observed that moisture trapped in the roofing system can attack the membrane from the underneath and cause a progressive weakening of the felts. The weakened membrane can thus break open under the influence of tensile stresses induced by cold weather.

Membranes can also split as the result of ice on the roof. In this case, however, the ice splits first, often following a tortuous path and the membrane splits along the same line. The problem is more likely to occur when rain falls on a roof covered with snow, followed by a cold spell. The snow holds back the rainwater preventing it from draining. In regions subjected to periods of rain, snow and cold weather in winter, ice can sometimes build up to depths of 150 to 200 mm. The ice splits during a cold spell as a result of temperature induced tensile stresses. Roofs should be inspected periodically where these conditions exist to detect the presence of ice.

The third type of split occurs at locations of high stress such as re-entrant corners. These are, in fact, tears, with the membrane which ends at the wall contracting while the membrane which is continuous does not move. Such a tear may continue to grow even after the original split has been repaired unless steps are taken to secure it properly so as to prevent further movement.

Shrinkage – A BUR membrane must be attached properly to its substrate if it is to be prevented from shrinking. All building materials expand and contract when exposed to changes in temperature and most should not be restrained. A BUR membrane, however, is a viscoelastic material, relatively strong in tension but weak in compression. If not adequately restrained, it may contract when in tension but will not expand to its original size when in compression. This behaviour can result in progressive shrinkage with the membrane pulling away from the edges of the roof, breaking the flashings. Since the membrane is usually well adhered to the insulation because of the asphalt, the

slippage usually takes place at the glue line between the insulation and the deck because of incompatible materials, design oversight or poor workmanship. When repairing, it is necessary to first mechanically fastened the roofing to the deck along a 1200 mm wide strip.

Blisters – Blisters are soft, air–filled areas that show up on a BUR. They can be interply or interface (between the membrane and the insulation). Interply blisters generally remain small, since blisters require air to grow, and they seldom cause problems. Interface or some interply blisters which connect to the insulation may grow quite large since they have an unlimited supply of air and their growth will depend on the quality of adhesion at the perimeter of the blister. They, in fact, simply become an extension of the air space enclosed by the membrane itself.

Alligatoring – Asphalt is not resistant to ultra violet radiation. The lighter oils evaporate, other molecules break down and erode away. The resulting reduction in volume shows up as cracks in the coating, and the thicker the coating, the more severe the cracking. Asphalt must be protected by gravel or by a reflective coating.

Slippage – The two principal factors involved in slippage are slope and type and quantity of asphalt. As mentioned previously, three types of asphalt are available in Canada and each one can be used within a range of slopes. Using these asphalts on steeper slopes or using more asphalt than the specified quantity within the allowable range of slope can result in slippage.

Wind Scouring – Roof corners exposed to high winds may be subject to loss of aggregate because of turbulence. This may expose the asphalt to solar radiation or remove the ballast on a loose–laid system, leaving them vulnerable to wind blow–off. Periodical inspections should be made to check the condition of the corners especially those exposed to high prevailing winds.

5.2 OPTIMUM THERMAL RESISTANCE FOR ROOFING SYSTEMS

As a result of the energy crisis of the 1970's and the rising cost of energy, the need to better insulate buildings has become obvious. The question often raised, however, is how much better.

Most flat roofs have a limited life expectancy, probably a maximum of 20 years, many of these leak before they are replaced so that the insulation becomes wet, losing some of its efficiency. Cost of fuels also varies across the country and so does the weather. Any Life–Cycle Cost study must take a number of factors into consideration and this is a reason why not all such studies give the same answers. The purpose of this Appendix is not to offer the definitive solution but rather to draw attention to a few of the studies that can be consulted.

1) In Canada, the Associate Committee of the National Building Code issued, in 1983, a document entitled "Measures for Energy Conservation in New Buildings". The table below provides the minimum thermal resistance of various building assemblies for a range of degree days. For roofs of

noncombustible construction, generally flat roofs, the table lists the following resistances:

Degree Days	3500	5000	6500	8000 and over
RSI	2.6	3.1	3.5	3.9

2) Eric Burnett, Director of the Building Engineering Group, University of Waterloo, studied the economics of the thermal retrofit of flat roofs for Energy, Mines and Resources (EMR). His study took into consideration the cost of supplying and placing the insulation and the cost of modifying the roof such as raising curbs, nailers, parapets to accommodate the increased thickness of insulation. It also assumed two payback periods i.e. 5 and 10 years and used the actual cost of fuels in the various regions. This explains why Calgary, in the following table, has the second highest degree days of the cities listed but warrants the least amount of insulation.

Location	Halifax	Montreal	Toronto	Winnipeg	Calgary	Vancouver
Degree Days	3880	4538	3646	5871	5321	2924
RSI - 5 years	1.85	1.56	1.32	1.46	1.09	1.03
RSI - 10 years	2.61	2.21	1.86	2.06	1.54	1.46

3) The Oak Ridge National Laboratory in a study sponsored by the Air Force Engineering and Services Center came up with rather broad guidelines. One of its major conclusions was that: The optimum R-Level, at which LCC's are minimized, ranges from R-10 (for lower-cost gas heat) to R-25 (for higher-cost oil and electric heat). In none of the cases were insulation levels up to R-33 justified on an economic basis for above deck insulation.

The study is valid for all regions in the United States including Alaska.

For additional information read:

1. **Measures for Energy Conservation in New Buildings 1983** issued by the Associate Committee on the National Building Code. NRCC No. 22421.

2. Eric F.P. Burnett and Cole Harisson. **Flat Roof Thermal Retrofit**. Proceedings of the Third CSCE Conference on Building Science and Technology, Toronto, November 14 & 15, 1985, pp 281 to 306.

3. Oak Ridge National Laboratory. **Economic Analysis of Insulation Materials used in Low Slope Building Roof Systems**.

5.3 BUILDING PERFORMANCE EVALUATION DOCUMENT LIST

Documents in this series have been divided into four classes. Class A documents describe the use of documents in the other three classes. Class B is a catalogue of tests which includes an index and cross reference list. Class C documents provide an overview of the three performance areas and summarize the Class D documents in the respective area. Class D documents contain descriptions of performance attributes and detail means of assessing those attributes.

	A1	Project Manager's Guide
	A2	Property Manager's Guide
	B1	Catalogue of Tests
Overviews	C1	Environmental and Energy Performance
	C2	Functional Performance
	C3	Systems and Material Performance
Environmental and Energy Performance	D01	Pollutant Evaluation
	D02	Pollution Migration
	D03	Thermal Environment Evaluation
	D04	Global Evaluation: Energy Performance
	D05	Component Evaluation: Energy Performance
	D06	Equipment and Systems Evaluation: Energy Performance
	D07	Retrofit Evaluation: Energy Performance
	D08	Acoustic Environment Evaluation
	D09	Air Circulation Evaluation
	D10	Illumination Evaluation
	D11	Weather Data Collection
Functional Performance	D20	Record and Archive Analysis
	D21	Plan Annotation
	D22	Focused Interviews
	D23	Questionnaires
	D24	Observation
Systems and Material Performance	D30	Structural Walls and Columns: Condition Survey
	D31	Structural Slabs and Roofs: Condition Survey
	D32	Parking Garages: Condition Survey
	D33	Mechanical Systems Evaluation
	D34	Mechanical Controls Evaluation
	D35	Electrical Systems Evaluation
	D36	Airtightness and Pressure Monitoring
	D37	Measurement of Outdoor Air Supply Rate
	D38	Thermographic Inspections of Building Enclosures
	D39	Thermal Resistance Measurement
	D40	Moisture Content Inspections
	D41	Roofing Systems Evaluation

Travaux publics Canada
Services d'architecture et de génie

Public Works Canada
Architectural and Engineering Services

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Évaluation des systèmes de couvertures

Document D41

Canada

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Évaluation des systèmes de couvertures

Document D41

SAG 1-4:86-50

mars 1988

Les sujets traités dans ce document représentent les points de vue des auteurs et ne sont pas nécessairement les points de vue ou toutes lignes de conduite du département des Travaux publics.

Le ministre des Travaux publics ne fait aucune recommandation ou n'endosse sous quelque forme que ce soit, exprimée ou tacite, cette publication ou les programmes ou l'information qu'elle contient quant à la qualité, la commercialisabilité, l'adéquation à une fin particulière ou la capacité à produire un résultat quelconque. En aucun cas, le Ministre ou Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, ses employés, fonctionnaires ou agents gouvernementaux ne peuvent être tenus légalement responsables à l'égard de quiconque pour un préjudice direct, indirect ou découlant de l'utilisation de ladite publication ou des programmes ou de l'information y contenus.

Publiés par les Services d'architecture et de génie
Travaux publics Canada

Travaux publics Canada | Public Works Canada

FICHE SIGNALÉTIQUE DE DOCUMENT

1. Titre du document ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE COUVERTURES	2. Numéro de contrôle AES/SAG 1-4:86-50
	3. Date Mars 1988
4. Auteur(s) Institut de recherche en construction Conseil national de recherches	5. No de réf. du conseil
6. Chargé de projet	7. No de la collection technique D41
8. Nom et adresse de l'organisme rédacteur Division du rendement des immeubles, T.P.C. Local C-456, Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Téléphone: (613) 998-7830	9. Type de document Lignes directrices
	10. Nombre de pages 27
11. Nom et adresse de l'organisme promoteur Technologie du design, de la construction et de l'immobilier Programmes de soutien à la gestion immobilière fédérale Logement	12. No de dossier de TPC A4270-16
	13. No de projet de TPC 602055
14. Notes Toutes questions ou commentaires doivent être dirigés à l'organisme rédacteur, se référer à 8 ci-haut.	15. No de publication de ASC
	16. ISBN

17. Résumé

Les systèmes de couvertures de toît sont constamment sous l'attaque des facteurs environnementaux; peu de composantes de bâtiment sont exposées à des conditions aussi rudes durant leur vie de service. Ainsi, pour minimiser la détérioration des matériaux composant la couverture de toît, ces derniers doivent être suffisamment résistants ou bien protégés; leur conception et leur installation sont importantes. Une inspection périodique doit être effectuée pour identifier et corriger les aires à problèmes avant que toute détérioration ne devienne vraiment sérieuse.

Au sujet des techniques de planification pour l'inspection, l'évaluation, et la maintenance des toîts à pente douce, de l'information est circulée à travers ce document. D'autres renseignements traitant des matériaux et des systèmes de couvertures de toît utilisés présentement, y sont également obtenus afin de connaître leur comportement propre.

18. Diffusion Exemplaires disponibles: Centre de documentation Services d'architecture et de génie Travaux publics Canada Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Mots clés	
	20. No de catalogue du centre de documentation BP D41	21. Prix

DPW 2398 (86/09)

TABLE DES MATIÈRES

1.	**INTRODUCTION**	1
1.1	But et objectifs	1
1.2	Information de base	1
2.	**DÉLIMITATION DU SUJET**	3
2.1	Les couvertures	3
2.1.1	Couvertures traditionnelles	3
2.1.2	Couvertures à membrane d'étanchéité protégée	3
2.2	Membranes d'étanchéité	3
2.2.1	Membranes d'étanchéité multicouches	3
2.2.2	Membranes d'étanchéité monocouches	5
	a) Pose en détaché avec lestage	5
	b) Pose en semi-détaché	5
	c) Pose en adhérence totale	5
2.2.3	Matériaux	5
	a) Thermoplastiques synthétiques	5
	b) Élastomères vulcanisés thermodurcissables	6
	c) Bitumes modifiés	6
2.3	Isolants	7
2.3.1	Fibres de verre	7
2.3.2	Mousse phénolique	7
2.3.3	Polystyrène	8
	a) Polystyrène expansé	8
	b) Plolystyrène extrudé	8
2.3.4	Polyuréthanne/Polyisocyanure (PU/PI)	8
2.3.5	Fibres de bois	9
2.3.6	Panneaux composites	9
2.3.7	Résistance thermique des isolants pour toitures	9
2.4	Pare-vapeur	9
2.5	Membranes d'étanchéité à l'air	10
2.6	Support de couverture	10
2.7	Parapets	10
2.8	Système d'écoulement des eaux	11
2.9	Joints	11
2.9.1	Joints d'expansion	11
2.9.2	Joints de fractionnement	11
3.	**MÉTHODOLOGIE**	13
3.1	Étape I - Évaluation préliminaire (Introduction)	13
3.1.1	Analyse des lieux par des experts	13

3.1.1.1	Description des techniques	13
3.1.1.2	Démarche détaillée	13
	a) Solins	13
	b) Membranes d'étanchéité	14
	i) Membranes d'étanchéité multicouches traditionnelles	14
	ii) Bitumes modifiés	14
	iii) Membranes d'étanchéité en PCV	15
	iv) Membranes d'étanchéité en MEPD	15
	v) Couverture à membranes d'étanchéité protégées	16
3.1.1.3	Évaluation	16
3.1.1.4	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	17
3.1.1.5	Documentation: établissement et classement des documents de travail	17
3.1.2	Analyse des plans et des archives	17
3.1.2.1	Description des techniques	17
3.1.2.2	Démarche détaillée	17
	a) Structure	17
	b) Mécanique	17
	c) Résistance thermique	17
3.1.2.3	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	18
3.1.2.4	Documentation: établissement et classement des documents de travail	18
3.2	Étape II – Techniques simples de mesure – sans objet	
3.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	18
3.3.1	Description des techniques	18
3.3.2	Démarche détaillée	18
3.3.2.1	Techniques destructives	18
3.3.2.2	Techniques non destructives	19
4.	**RÉFÉRENCES**	21
5.	**ANNEXES**	23
5.1	Description des divers défauts inhérents aux membranes d'étanchéité multicouches	23
5.2	Résistance thermique optimale des couvertures	24
5.3	Liste de documents évaluant le rendement des immeubles	27

LISTE DES TABLEAUX

2.2.1	Types d'asphalte	4
2.3.1	Résistances moyennes des divers isolants disponibles au Canada	9

1. INTRODUCTION

1.1 BUT ET OBJECTIFS

Au début du siècle, les membranes d'étanchéité multicouches d'une couverture de toit étaient posées directement sur un support en bois ou en béton, l'isolant (s'il y en a) se trouve sous le support. Après la deuxième guerre mondiale, on a mis au point une technique qui consistait à poser l'isolant au-dessus du support, suivi de la membrane d'étanchéité. C'était l'époque où les entrepreneurs offraient une garantie de 15 ou 20 ans aux propriétaires. Au cours des années 60 et 70, l'industrie était en plein essor grâce à l'introduction sur le marché d'isolants plastiques et de divers types de feutres (organiques, de fibres de verre et d'amiante). Malheureusement, les innovations étaient rares, la recherche était plutôt sporadique et les concepteurs se contentaient de suivre les détails et recommandations des fabricants. Les ouvriers, quant à eux, étaient souvent inadéquatement formés par des personnes non qualifiées dans l'"art" d'installer un bon toit. C'est là que les problèmes ont surgi dans l'industrie.

Depuis dix ans, les choses ont bien changé. Les membranes d'étanchéité monocouches font concurrence aux membranes d'étanchéité multicouches et de nouveaux isolants de plus en plus efficaces énergétiquement sont mis au point. Des associations professionnelles veillent à l'établissement de normes minimales, s'adonnent à la recherche et visent à améliorer le transfert de l'information dans le domaine. Il s'agit donc maintenant d'une industrie en pleine évolution technologique.

Les couvertures sont constamment exposées aux éléments extérieurs tels les intempéries, et aux diverses activités inhérentes à l'exploitation des bâtiments. Pour que leur rendement soit optimal, elles doivent être bien entretenues, et par conséquent, inspectées régulièrement. Sinon, l'entretien se limite aux situations d'urgence et les matériaux se détériorent rapidement.

Le présent document a pour but de renseigner l'utilisateur sur les techniques d'inspection et d'évaluation des couvertures pour toits à faible pente et sur la planification des mesures d'entretien. Il renferme aussi des détails sur la composition des couvertures et la nature des matériaux utilisés pour mieux en comprendre leur tenue en service. L'utilisateur sera donc en mesure d'évaluer les problèmes qui sont susceptibles d'être résolus et les autres qui nécessitent des interventions plus radicales.

Une enquête menée en 1985 portant sur 104 bâtiments de toutes les régions desservies par Travaux publics Canada a révélé que la plupart des couvertures montraient des signes évidents de défaillance. Le rapport d'enquête recommandait entre autre de mettre l'accent sur la coordination des activités d'entretien à long terme. Au cours de la même année, Travaux publics a publié une version mise à jour du document no 6.330.5 intitulé "Inspection et entretien des couvertures". Ces deux documents sont cités dans les références à la fin du présent document.

1.2 INFORMATION DE BASE

Peu d'éléments de bâtiments sont exposés à des conditions aussi rigoureuses durant leur vie utile. En été, le soleil peut faire monter à 70°C la température de la membrane

d'étanchéité et le soir, par temps clair, elle peut baisser à 10°C. En hiver, les écarts quotidiens ne sont pas aussi considérables, mais ils se produisent à basse température lorsque le matériau a perdu quelque peu de son élasticité. Le rayonnement ultraviolet peut endommager rapidement certains matériaux non résistants ou non protégés adéquatement. En été, les membranes d'étanchéité sont fréquemment mouillées, parfois même en permanence, et en hiver, c'est la neige et plus particulièrement la glace qui peut causer des problèmes.

Des personnes sont aussi appelées à circuler sur les couvertures pour les travaux d'entretien des équipements montés sur le toit, le lavage des fenêtres et les réparations des installations mécaniques.

De la graisse, de l'huile, des solvants et des produits chimiques déversés sur la membrane d'étanchéité sans être nettoyés ou signalés peuvent entraîner la détérioration graduelle de la couverture ou même une fuite. C'est pourquoi il est important qu'une couverture soit non seulement bien conçue et posée, mais aussi inspectée régulièrement pour permettre de déceler et de corriger les problèmes avant qu'il ne soit trop tard.

2. DÉLIMITATION DU SUJET

2.1 LES COUVERTURES

Deux types de couvertures sont couramment utilisés pour les toits isolés à faible pente, les deux se distinguant par l'emplacement de la membrane d'étanchéité.

2.1.1 Couvertures traditionnelles

La membrane d'étanchéité recouvre l'isolant; elle est alors exposée à d'importantes variations de température, au rayonnement solaire et à certains dommages causés par les personnes qui y circulent. Quand la membrane n'est pas recouverte de granulats, elle peut être inspectée facilement et réparée rapidement (réparations mineures). Un pare-vapeur protège généralement l'isolant contre l'humidité provenant du bâtiment.

2.1.2 Couvertures à membrane d'étanchéité protégée

La membrane d'étanchéité est posée sur le support, sous l'isolant. Elle se trouve ainsi à température constante, et protégée par l'isolant du rayonnement solaire et des dommages matériels. L'isolant est généralement maintenu en place avec du granulat. Pour prévenir son déplacement dû à l'accumulation d'eau, il faut prévoir 60 kg de granulats par mètre carré de surface pour les premiers 50 mm d'isolant suivi de 25 kg/m² pour chaque 25 mm additionnel. Un système léger de recouvrement, dans lequel on place un matériau de polyoléfine tissé entre l'isolant et le granulat, ne requiert que 50 kg de lestage indépendamment de la quantité d'isolants exigée ci-dessus. Une bande de 1200 mm située au périmètre du toit ne doit permettre aucune flottaison; pour ce, cette partie doit être lestée comme décrit ci-dessus. L'isolant lui-même doit résister à l'eau.

Comme la membrane d'étanchéité est recouverte d'isolant et de granulats, il est impossible de l'inspecter régulièrement; les fuites peuvent aussi être difficiles à localiser et à réparer.

2.2 MEMBRANES D'ÉTANCHÉITÉ

On a utilisé pendant longtemps les membranes d'étanchéité multicouches. Vers le milieu des années 70, les nouvelles membranes d'étanchéité monocouches ont fait leur apparition sur le marché, faisant concurrence aux membranes d'étanchéité multicouches. Elles ont, pour la plupart, été mises au point en Europe, où les conditions climatiques ayant servi de base à la Recherche et au Dévelopment (R & D) sont assez différentes des nôtres. C'est ainsi que certaines membranes d'étanchéité se sont révélées nettement insatisfaisantes dès le début, alors que d'autres ont fourni un bon rendement. Nous décrirons brièvement les principaux types membranes d'étanchéité utilisées actuellement.

2.2.1 Membranes d'étanchéité multicouches

Les membranes d'étanchéité multicouches se composent généralement de quatre feutres se chevauchant les uns les autres à la manière de bardeaux, et adhérés au moyen de

bitume. On utilise actuellement deux types de feutre (en fibres de bois ou organiques et en fibres de verre) et deux types de bitume (l'asphalte et le brai). L'asphalte, résidu de la distillation du pétrole brut, est le plus couramment utilisé. Le point de ramollissement s'élève par oxydation; trois types d'asphalte sont produits, comportant des points de ramollissement différents, ce qui permet d'en diversifier les applications, c'est-à-dire sur des toits à pente nulle (non recommandé) jusqu'à des pentes de 1 pour 2 (voir le Tableau 2.2.1). Le brai ne convient pas pour des pentes supérieures à 1 pour 25.

Type	Point de ramollissement, °C	Pente du toit
1	60 - 68	Inférieure à 1:16
2	75 - 83	1:16 à 1:8
3	90 - 98	1:8 à 1:2

Tableau 2.2.1: Types d'asphalte.

La quantité de bitume appliquée entre les feutres doit être de 1.0 kg/m² de surface dans le cas de feutres organiques et de 1.2 kg/m² de surface dans le cas de feutres en fibres de verre. La tolérance maximale est de 25 %. Pour en faciliter l'application, il faut chauffer le bitume dans une bouilloire jusqu'à ce qu'il atteigne la température idéale d'application (appelée température équivisqueuse - TEV) recommandée par le fabricant.

Par temps froid, la membrane multicouche d'étanchéité lorsqu' utilisée dans un système conventionnel est soumise à des contraintes de traction et risque de se contracter si elle n'est pas bien attachée au support, résultant en un rétrécissement permanent. Il faut donc bien nécessaire de fixer les composants entre eux et au support pour maintenir en place la membrane. L'isolant est parfois fixé au support en bois ou en acier au moyen d'attaches mécaniques.

Selon les normes de la 'Factory Mutual', l'isolant recouvrant les supports en acier doit être maintenu en place au moyen d'attaches mécaniques. Cette décision a été prise il y a quelques années, après avoir remarqué l'inefficacité des adhésifs utilisés à cette fin. D'après certains concepteurs, cette technique perfore le pare-vapeur; la pose même du pare-vapeur sur un support nervuré en acier est discutable étant donné les difficultés souvent inhérentes à son installation. Si un pare-vapeur est prévu dans les plans, il est préférable de fixer des plaques de plâtre (ou un autre matériau semblable) au support pour que la surface porteuse soit lisse et homogène.

Les quatres feutres du système de membrane d'étanchéité traditionnel sont recouverts d'une couche finale de bitume de 3.0 kg/m² de surface, avec couche protectrice en gravillons de 20 kg/m² de surface.

Dans une membrance multicouche protégée, il faut prévoir deux applications distinctes de bitume de 2.2 kg et 1.2 kg respectivement (3.4 kg/m² en tout) par mètre carré de surface comme couche finale. Il n'est pas nécessaire d'ajouter de gravillons car l'isolant est posé directement sur la membrane.

2.2.2 Membranes d'étanchéité monocouches

En dépit de leur nom, elles ne sont pas toujours posées en une seule épaisseur. Elles sont réparties en trois catégories, des feuilles de plastique et de caoutchouc assemblées par leurs côtés forment une membrane continue et des bitumes généralement complétement adhérés à des feutres enduits, eux-mêmes collés à l'isolant ou au support pour former une membrane d'étanchéité à deux couches. Elles conviennent pour la plupart à la fois au système traditionnel et au système à membrane d'étanchéité protégée, bien que certaines soient limitées à la membrane d'étanchéité protégée.

Dans les systèmes traditionnels, il existe trois techniques de pose pour les feuilles monocouches de plastique ou de caoutchouc: la pose en détaché avec lestage, la pose en semi-détaché et la pose en adhérence totale.

a) Pose en détaché avec lestage

Cette membrane est tout simplement posée sur un support lisse, et fixée en périphérie et à l'endroit des pénétrations dans le toit. On ajoute ensuite une couche de gravillons de forme arrondie d'au moins 50 kg/m² de surface pour éliminer le soulèvement dû au vent ou au battement de la membrane.

b) Pose en semi-détaché

Diverses techniques servent à fixer mécaniquement la membrane au support. Les fixations peuvent être enfoncées au travers de la membrane et être recouvertes d'un joint d'étanchéité; elles peuvent être également posées en bordure des feuilles lors de l'assemblage, les fixations étant ainsi dissimulées par les joints de recouvrement; ou simplement la membrane peut être collée par endroits par des rondelles adhérentes mises en place avant l'étanchéité. Comme la membrane n'est pas recouverte de granulats, des vents violents peuvent causer un battement à l'endroit des fixations, entraînant ainsi la fatigue du matériau. Les fixations mécaniques perforent l'isolant et le pare-vapeur, et traversent souvent la membrane d'étanchéité à l'air, il incombe donc au concepteur de s'assurer que toutes les perforations et tous les ponts thermiques n'auront pas d'effets nuisibles sur la performance de la couverture.

c) Pose en adhérence totale

Le bitume d'application à chaud, le bitume fluidifié d'application à froid ou d'autres adhésifs et colles de contact posés à froid servent à faire adhérer selon le type de matériaux utilisé la membrane d'étanchéité au support. Si l'isolant constitue la couche inférieure, il doit être collé à son tour au pare-vapeur, puis au support.

Dans une membrane protégée, la monocouche est généralement posée en détaché puis recouverte d'isolant suivi de lestage.

2.2.3 Matériaux

a) Thermoplastiques synthétiques

On retrouve dans cette catégorie le polychlorure de vinyle (PCV), le polyéthylène chloré (PEC) et le polyisobutylène (PIB).

- PCV – Sert à la fabrication de feuilles armées (de fibres de verre ou de polyester) ou non armées, généralement de 1.2 mm d'épaisseur. Elles sont assemblées sur place, soudées à la chaleur pour former une membrane continue; il est aussi possible d'utiliser des adhésifs à base de solvants. Le PCV non armé peut montrer des signes de rétrécissement (jusqu'à 2 % dans les deux sens) à la suite du relâchement des contraintes, ce qui peut nuire à l'intégrité des solins, à moins qu'on en ait tenu compte au moment de la conception et de l'installation de la membrane. Le rayonnement solaire peut aussi entraîner une défaillance des plastifiants; on utilisera alors des plastifiants stabilisés lors de la fabrication. Le PCV ne doit pas être en contact avec l'isolant en polystyrène, ou des matériaux imprégnés de bitume à cause des risques d'interaction chimique. Lorsqu'une feuille de PCV recouvre un isolant plastique ou imprégné d'asphalte, il faut d'abord poser un panneau de fibres non traité ou autre matériau inerte sur l'isolant. Le PCV résiste bien aux intempéries et aux produits chimiques, mais peut être endommagé par le goudron, l'asphalte, l'huile et les graisses animales. Il peut être posé en détaché avec lestage, en semi-détaché ou en adhérence totale.

- PEC – Ne nécessite pas de plastifiants pour avoir de la souplesse, ce qui le rend plus résistant aux intempéries et aux produits chimiques. Il est aussi compatible avec les bitumes. Les joints sont soudés à la chaleur et les techniques de pose utilisées sont la pose en détaché, en adhérence totale ou sont fixés mécaniquement.

- PIB – Il s'agit d'un copolymère thermoplastique renfermant du noir de carbone et des agents anti-vieillissement. Il résiste bien aux intempéries et a bonne souplesse à basse température. Sans armature, il résiste mal au glissement. Son épaisseur est généralement de 1.5 mm, sans l'armature. Les joints sont réalisés par bande de recouvrement ou soudure par dissolution. Les feuilles peuvent être posées en détaché avec lestage ou en adhérence au moyen de bitume d'application à chaud ou à froid.

b) Élastomères vulcanisés thermodurcissables

Cette catégorie renferme le polychloroprène (néoprène), le polyéthylène chlorosulfoné (hypalon), le caoutchouc butyl et le monomère d'éthylène propylène diène (MEPD); ce dernier – est le plus couramment utilisé.

- MEPD – mélange d'hydrocarbures copolymérisés avec diènes transformés par vulcanisation en caoutchouc pleinement mature. Ce matériau est particulièrement résistant à l'ozone et aux rayons ultraviolets. Il a une épaisseur de 1.0 à 1.5 mm, les joints de recouvrement sont réalisés au moyen de colle de contact ou de bandes de caoutchouc MEPD non mature. Il ne résiste pas aux dérivés du pétrole. Il peut être posé en détaché avec lestage, en semi-détaché ou en adhérence totale.

c) Bitumes modifiés

Consistent généralement en des bitumes transformés par l'addition de polymères, les plus courants étant le styrène butadiène styrène (SBS) et le

polypropylène atactique (PPA). On ajoute aussi divers remplisseurs et huiles. Ces produits sont appliqués sous forme liquide (fusion) ou en feuille préfabriquée.

- L'asphalte caoutchouté d'application à chaud est chauffé dans une bouilloire puis étendu sur le support (de béton, contreplaqués ou plaques de plâtre) pour former une membrane homogène de 4 à 5 mm d'épaisseur. Il faut normalement l'appliquer en deux couches, avec armature intercalée. Il a une faible résistance aux rayons ultraviolets et son utilisation est limitée aux membranes protégées alors que l'isolant qui le recouvre le protège du rayonnement solaire. Il faut introduire une feuille de séparation entre la membrane et l'isolant pour empêcher l'adhésion de ce dernier.

- Feuilles de bitume modifié – La membrane se compose de deux couches, la première posée sur du bitume chaud et la deuxième, soudée à la chaleur au moyen d'un chalumeau au propane ou elle aussi posée sur du bitume chaud. Certaines feuilles sont autoadhésives et comportent un revêtement en papier à enlever avant usage. Les feuilles sont généralement armées de fibres de verre ou d'un tissus de polyester; certaines comportent un support (pellicule de plastique, en natte ou en feuille). Les feuilles exposées aux intempéries doivent comporter une protection contre le rayonnement ultraviolet, c'est-à-dire un matériau granulaire coloré ou une feuille de métal mise en place lors de la fabrication, ou un revêtement ou une couche de granulats posés sur place.

2.3 ISOLANTS

Nombre d'isolants décrits ci-dessus sont de fabrication canadienne. Leurs propriétés physiques varient au même titre que leur composition. Tous présentent certaines particularités à considérer lors de leur utilisation pour éviter des problèmes au moment de la construction et ultérieurement.

2.3.1 Fibres de verre

Isolant composé de fibres de verre fins liées et comprimées à la densité désirée pour obtenir la résistance à la compression et la résistance thermique voulues. L'isolant est couvert d'un papier kraft et d'un feutre saturé d'asphalte pour permettre l'application à la vadrouille d'asphalte chauffé. L'adhérence au support peut être réalisée par de l'asphalte chaude ou des adhésifs appliqués à froid. Ce matériau est conforme à la classification 1 – 90 de la Factory Mutual et aux exigences applicables au Underwriters' Laboratories of Canada (ULC).

2.3.2 Mousse phénolique

Il s'agit d'un matériau alvéolaire léger, dérivé de résine phénol-formaldéhyde expansée au moyen d'un agent gonflant. Il a une excellente résistance au feu. Sa réaction à l'humidité, qui lui faisait prendre une forme concave en cas d'exposition au rayonnement solaire, a entraîné certains problèmes dont le plissement des membranes

multicouches. On le fabrique maintenant en trois sections jointes par un revêtement ondulé, ce qui a réduit le gondolage et amélioré la souplesse. Ce matériau est conforme à la Classe 1 de la Factory Mutual et est homologué par les ULC.

2.3.3 Polystyrène

a) Polystyrène expansé

Ce matériau se compose de particules de polystyrène expansé sous forme de grains par un agent gonflant. Les grains sont chauffés dans un moule, augmentent de volume afin de combler les vides et se fusionnent pour former une planche. Le polystyrène ne peut résister à des températures supérieures à 105°C – 110°C; s'il est utilisé avec une membrane multicouche ou avec une couche de bitumes modifiés appliquée par soudage au chalumeau – il faut le recouvrir de panneaux de fibres de bois ou de tout autre isolant résistant à la chaleur appliqué par la méthode "mop and flop" qui consiste à appliquer le bitume sur le panneau de fibre et à le retourner sur le polystyrène, pour le protéger de la chaleur du bitume. Il est important de bien choisir les adhésifs d'application à froid car les solvants qui y sont contenus peuvent entraîner la dissolution du polystyrène.

b) Polystyrène extrudé

Ce matériau est obtenu par l'extrusion à température élevée et sous pression d'un composé à base de polystyrène fondu contenant un agent gonflant. Le polystyrène extrudé a lui aussi une faible résistance à la chaleur et doit être protégé par des panneaux de fibres de bois quand il est utilisé sous une membrane multicouche ou une membrane de bitume modifié. Toutefois, sa structure alvéolaire fermée lui confère une bonne résistance à l'humidité, ce qui en fait le seul produit recommandé dans les cas de membranes protégées. Le polystyrène ne résiste pas aux rayons ultraviolets et doit être recouvert dans une membrane protégée. S'il est posé sur un support d'acier, il faut prévoir des plaques de plâtre entre le polystyrène et le platelage comme barrière thermique.

2.3.4 Polyuréthane/Polyisocyanure (PU/PI)

Ces deux types de mousses résultent de la réaction d'un polyol et d'un polyisocyanure en présence d'un catalyseur, d'un agent gonflant et d'un agent de surface. Les conditions de la réaction déterminent si l'on obtient à la suite de la polymérisation un polyisocyanure au lieu de polymères de polyuréthane. Comparativement au polyuréthane, les isolants de polyisocyanure ont une plus grande stabilité thermique et une plus faible inflammabilité; c'est pourquoi il est de plus en plus populaire comme matériau d'isolation des toitures. On a remarqué, dans de nombreux cas, la formation de cloques entre l'isolant et la membrane multicouche. Pour remédier à ce problème, il est recommandé de recouvrir le matériau d'un isolant en fibres de verre ou en fibres de bois avant la pose de la membrane multicouche ou de la membrane de bitume modifiée appliquée par soudage au chalumeau.

Les isolants polyuréthane et en polyisocyanure sont des mousses alvéolaires fermées dont l'agent gonflant est un fluorocarbone (gaz réfrigérant). Par conséquent, leur

résistance thermique initiale est plus élevée que celle des autres isolants. Mais, au fur et à mesure, le gaz s'échappe et est remplacé par de l'air, réduisant ainsi la résistance. Pour ralentir ce processus, on appose un revêtement de papier aluminium sur les deux faces de l'isolant; les gaz continuent toutefois de s'échapper par les côtés exposés.

2.3.5 Fibres de bois

Cet isolant est composé de fibres de bois pressées pour former un panneau homogène. Étant donné sa faible résistance thermique, il est rarement utilisé comme isolant pour toitures. Mais mis en place sur d'autres isolants comme le polystyrène et le polyuréthane, il sert à les protéger contre les températures élevées lors de la pose des membranes multicouches et couches de bitume modifié. Il sert aussi à protéger les feuilles en PCV contre la défaillance des plastifiants lorsqu'elles sont placées directement sur l'isolant en polystyrène. Dans les bâtiments non chauffés, on les utilise pour rendre la surface lisse pour supporter une membrane posée sur un support en acier ondulé.

2.3.6 Panneaux composites

Ils sont composés de panneaux de polystyrène et de polyuréthane revêtus d'un panneau de fibres, d'un panneau de perlite ou de fibres de verre. Ces revêtements de surface incorporés permettent d'améliorer la résistance à la chaleur et au feu, éliminant ainsi la nécessité d'une pose distincte de ces derniers.

2.3.7 Résistance thermique des isolants pour toitures

Le tableau suivant renferme les valeurs de résistance moyennes des divers isolants disponibles au Canada:

Matériaux	Résistance thermique RSI, par couche de 25 mm d'épaisseur
Fibres de verre	0.74
Mousse phénolique*	0.76
Polystyrène	
a) expansé	0.70
b) extrudé	0.88
Polyuréthane	1.00
Panneaux de fibres de bois	0.49

* On fabrique aux États-Unis une mousse phénolique à alvéoles fermées avec gaz réfrigérant comme agent gonflant et dont la résistance thermique théorique est de 1.49.

Tableau 2.3.1 Résistances moyennes des divers isolants disponibles au Canada

2.4 PARE-VAPEUR

Dans les systèmes traditionnels, il faut protéger contre l'humidité de l'air la face de l'isolant exposé à la chaleur en installant un pare-vapeur. Il se compose de deux

couches de feutres organiques ou de verre et d'asphalte ou de goudron ou de tout autre matériau monocouche à revêtement d'aluminium ou d'un autre produit résistant à la diffusion de la vapeur et au déchirement. Les fabricants de membranes d'étanchéité monocouches fabriquent aussi des pare-vapeurs compatibles avec leurs propres membranes et systèmes.

2.5 MEMBRANES D'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

Un manque de continuité de la membrane d'étanchéité à l'air est souvent à la source de nombreux problèmes liés à la jonction mur/toit et aux joints d'expansion. Dans une couverture, de nombreux éléments peuvent jouer le rôle de membrane d'étanchéité à l'air – par exemple le support (s'il est en béton), la membrane d'étanchéité ou le pare-vapeur à condition qu'ils soient bien supportés du point de vue structural. Les membranes d'étanchéité à l'air doivent avant tout être continues, interreliées à l'endroit des murs par exemple et bien hermétiques à l'endroit des pénétrations.

2.6 SUPPORT DE COUVERTURE

Un support de couverture doit comporter les caractéristiques suivantes: résistance aux charges super imposées, stabilité dimensionnelle, rigidité pour réduire le mouvement et surface lisse pour recevoir la couverture.

Le support qui peut être en béton (préfabriqué ou coulé sur place), en acier ondulé ou en bois, doit être incliné en direction des avaloirs. Il faut surveiller les joints des éléments préfabriqués étant donné leur largeur et mouvements possibles.

Il est préférable de poser des plaques de plâtre ou des feuilles de contreplaqué sur un support métallique avant la mise en place de la couverture. Dans le cas d'une d'un système de membrane protégée, cette pratique est obligatoire car la membrane doit être adéquatement supportée pour fournir un bon rendement; elle peut être hautement recommandée dans le cas de systèmes traditionnels car la pose d'un pare-vapeur mince sur un support ondulé n'est pas très efficace. Il peut être nécessaire de recouvrir les joints entre les plaques de plâtre ou les feuilles de contreplaqué au moyen d'une bande d'étanchéité pour éviter l'écoulement du bitume.

2.7 PARAPETS

Les murs de maçonnerie en surélévation sont exposés à la pluie poussée par les grands vents; l'eau qui s'y infiltre à travers ces parapets est souvent la cause de fuites que l'on attribue à tort au toit. La raison majeure de ce phénomène est l'importante différence de pression à travers les murs en surélévation pendant les tempêtes qui provoque l'infiltration de l'eau dans la maçonnerie. Pour minimiser ce problème, il faut que l'une des faces du mur (généralement la face intérieure) soit rendue étanche à l'air par l'application (en deux couches) d'un enduit de ciment ou d'une membrane adéquate. La partie supérieure du mur doit aussi être étanche à l'air; on installe à cette fin un couronnement en pierre ou un autre dispositif de protection tel une bande de solin métallique.

Si le mur en surélévation déborde du toit de plus de 300 mm, il faut prévoir un solin traversant la largeur du mur juste au-dessus du solin de la membrane d'étanchéité couvrant le toit. La bande de solin doit recouvrir toute la largeur du mur, être incliné vers le centre de la couverture, se prolonger au-delà de la face intérieure du mur et incorporer un larmier.

Un écran pare-pluie installé sur la face intérieure du parapet élimine les infiltrations d'eau à cette face mais n'empêche pas l'eau de pénétrer dans le mur par la face extérieure.

Les joints entre les panneaux préfabriqués en béton peuvent être une cause de problèmes. Ils doivent comporter une membrane d'étanchéité à l'air pour y empêcher le passage de l'air ainsi qu'un déflecteur de pluie sur l'une ou l'autre face.

2.8 SYSTÈME D'ÉCOULEMENT DES EAUX

Les toits où l'eau s'accumule pendant de longues périodes sont plus vulnérables à des imperfections mineures qu'aux endroits où l'eau se draine rapidement. Pour assurer un bon écoulement de l'eau, la pente minimale du support doit être de 1 pour 50. Sur les toits plats existants, on peut améliorer l'évacuation des eaux en changeant l'emplacement des avaloirs ou en en installant de nouveaux aux endroits où l'eau s'accumule. On peut aussi y aménager des pentes au moyen d'isolant ou de matériaux granulaires légers; il faut toutefois étudier cette solution avec soin.

Il est recommandé de ne pas utiliser d'avaloirs à écoulement contrôlé. Dans certains cas, ils sont exigés par les autorités locales, ce qui peut influer sur le choix du type de couverture et de matériaux utilisés. L'isolant d'un système de membrane d'étanchéité protégée légère avec lestage réduit peut se déplacer s'il est soulevé sur de grandes distances. Dans un système de membrane protégée avec lestage normal, il faudra prévoir une quantité supplémentaire de gravillons pour compenser la perte de poids d'environ un tiers accusée par les gravillons submergés d'eau.

2.9 JOINTS

Il existe deux types courants de joints dans les couvertures, soit les joints d'expansion et les joints de fractionnement.

2.9.1 Joints d'expansion

Ils sont déterminés par le concepteur et servent à diviser le toit en deux ou plusieurs sections distinctes. Ils peuvent toutefois être utilisés ailleurs sur le toit si le concepteur prévoit le déplacement différentiel de certains éléments structuraux par rapport aux surfaces avec lesquelles ils sont en contact (telle la rotation d'extrémité d'éléments à section importante et la déviation verticale d'une ferme profonde à proximité d'un mur).

2.9.2 Joints de fractionnement

Ils sont utilisés aux endroits où des contraintes peuvent se concentrer et provoquer la fissuration de la membrane (par exemple aux angles rentrants ou au changement de

direction du support). Ils servent aussi aux points de raccordement d'un nouveau toit à un toit existant, ou à la jonction de matériaux de couverture différents.

Comme les contraintes dans une membrane d'étanchéité multicouche traditionnelle ne sont pas fonction des dimensions du toit, il n'est pas nécessaire de fractionner le toit, à moins qu'une analyse de la structure et du plan d'aménagement souligne certaines aires à problèmes éventuels.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 ÉTAPE I – ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE (INTRODUCTION)

3.1.1 Analyse des lieux par des experts

3.1.1.1 Description des techniques

Il s'agit d'une inspection visuelle de la partie supérieure des murs et du toit effectuée de l'extérieur ainsi que de la sous-face du support, effectuée de l'intérieur. Le matériel nécessaire à l'inspection est: appareil photo, rubans à mesurer, couteau, pinces, tournevis, escabeau, plaquette à pince et papier, balai et pelle.

3.1.1.2 Démarche détaillée

La partie supérieure des murs à la jonction du toit peut présenter des signes d'efflorescence, de détérioration provoquée par les cycles gel/dégel ou de déplacement des matériaux. Cela peut indiquer des fuites d'air internes ou à des infiltrations d'eau venant de la partie supérieure causées par un solin défectueux ou par l'absence d'un solin traversant le mur. Le déplacement des matériaux peut résulter du rétrécissement de la membrane (matériaux déplacés vers l'intérieur) ou du gel de l'eau (matériaux déplacés vers l'extérieur).

Des tâches sur les plafonds, des coulures sur les murs extérieurs, de la rouille sur le support d'acier ou la structure porteuse, des signes d'efflorescence à l'endroit des fissures dans une dalle en béton sont tous des signes de fuites dans le toit. Si elles sont récentes, le personnel pourra en indiquer la source.

Des traces d'humidité sous la sous-face du support de couverture peuvent résulter d'une combinaison d'une trop forte humidité relative à l'intérieur du bâtiment et d'un isolant mouillé au-dessus du support.

L'inspection effectuée sur le toit doit être adaptée au type de couverture et de matériaux utilisés.

a) **Solins** – Ils constituent l'élément le plus vulnérable d'une couverture et doivent être inspectés pour en vérifier leur condition. La plupart sont formés des deux élements: un solin de base qui se prolonge verticalement de 200 à 250 mm au-dessus de la membrane d'étanchéité, et d'un contre-solin en métal qui évacue les eaux de pluie en partie supérieure des murs et des solins d'étanchéité. S'assurer que les bandes de solin métalliques n'ont pas été déplacées par le vent, la glace ou le mouvement dû à la température (i.e. le cycle de chauffage et de refroidissement). Il faut s'assurer que les solins encastrés dans le mortier ne sont pas tirés vers l'extérieur. Comme les solins de base sont généralement couverts par des bandes de solin métalliques, leur inspection est rendue plus difficile. En soulevant la bande de solin métallique d'une main et en poussant l'autre main sous le solin de métal, vous pouvez toucher au solin de base sur sa face verticale et par conséquent déceler toute

trace de rupture, de déplacement ou de rétrécissement de la membrane. Il n'est pas recommandé d'utiliser des joints calfeutrés pour le raccordement de solins à des matériaux différents; s'ils sont utilisés, il faut les vérifier régulièrement. Les rentrées de goudron sont utilisés en conjonction avec les ancrages des équipements de lavage des vitres et autour des haubans, etc. Il faut vérifier au moins une fois l'an, l'état du composant bitumineux contenu dans ces rentrées de préférence à l'automne, car le niveau des eaux peut dépasser les rentrées sous l'effet de la neige et de la glace accumulée sur le toit.

b) **Membranes d'étanchéité** – l'inspection doit être adaptée à la fois au système et aux matériaux.

i) Membranes d'étanchéité multicouches traditionnelles. À première vue, on remarque sur le toit des granulats d'une granulométrie de 3 à 16 mm enrobés dans une couche de bitume. Voici certains défauts à déceler (pour de plus amples détails se reporter à l'article 5.1 de l'Annexe):

- Plissement – Pli dans la membrane au–dessus d'un joint continu dans l'isolant et dans le sens longitudinal des feutres.

- Fissuration – Ruptures dans la membrane provoquant l'infiltration d'eau dans le bâtiment. Elles sont difficiles à repérer; il faut donc se servir d'un balai rigide pour enlever les gravillons et les poussières aux endroits suspects.

- Cloquage – Formation de poches d'air entre les feutres ou entre la membrane d'étanchéité et l'isolant. Certaines cloques sont visibles à l'oeil nu et d'autres ne se détectent seulement qu'en marchant dessus.

- Rétrécissement – La membrane peut se contracter par temps froid à cause d'une mauvaise fixation de l'ensemble et se détacher des rives du toit. Vérifier les solins; ils pourraient être fissurés.

- Glissement – Les feutres de couverture le long d'une pente peuvent glisser à cause d'une trop grande quantité d'asphalte entre les feutres ou d'un point de ramollissement trop bas pour l'asphalte utilisé. Un glissement se caractérise souvent par une bande d'asphalte noir vers le haut de la pente. La largeur de la bande reflète la quantité de déplacement.

- Déplacement des gravillons – Déplacement des gravillons à la surface de la membrane sous l'effet du vent. Les coins des bâtiments dont les parapets sont peu élevés sont les plus susceptibles. Le bitume est exposé et dégradé par les rayons ultraviolets, ce qui entraîne à comparer la couche de bitume à une peau de crocodile.

ii) Bitumes modifiés. Les défauts sont généralement faciles à déceler car la couche protectrice de granulats est mince et les raccordements de rive et d'extrémité sont exposés (à l'exception des matériaux protégés par des gravillons).

Vérifier la membrane pour voir s'il manque des granulats car les bitumes modifiés se détériorent s'ils sont exposés. Pour corriger la situation, il suffit de chauffer la membrane au moyen d'un chalumeau au propane et d'ajouter de nouveaux granulats.

Les joints sont très importants. Vérifier les signes de baillement et de décollement, particulièrement aux points de raccordement des feuilles croisées. Si la protection est constitué d'une mince tôle métallique, vérifier s'il y a des traces de décollement entre le bitume et la tôle.

iii) Membranes d'étanchéité en PCV. Le goudron, l'asphalte et les huiles ont des effets néfastes sur le PCV. S'assurer que ces matériaux ne sont pas utilisés et que du ciment plastique n'est pas en contact avec la membrane d'étanchéité ou les solins. Une attention spéciale doit être accordée aux dérivés du pétrole présents à proximité de l'équipement situé sur le toit.

La perte des plastifiants entraîne la fragilisation et la contraction de la membrane d'étanchéité et en conséquence la rupture et le décollement tout au long du périmètre du toit. Le rétrécissement peut exercer des contraintes sur les joints et les décoller s'ils ne sont pas bien assemblés.

Si la membrane en PCV est protégée au moyen de gravillons, dégagez certains des joints pour l'inspection puis remettre les gravillons en place. Vérifier les coins pour y déceler les déplacements excessifs de gravillons dus au vent; s'ils sont importants, remplacer les gravillons par des dalles de béton.

Dans le cas d'une membrane détanchéité posée en adhérence sur le support, vérifier s'il y a des signes de décollement. Prendre note de la dimension et de l'emplacement des surfaces décollées pour faire des comparaisons lors de la prochaine inspection. Si elles se sont agrandies, c'est peut-être que la pression du vent et de l'air provoque ce décollement.

Si la membrane est maintenue en place au moyen de fixations mécaniques, vérifier les surfaces adjacentes aux fixations pour déceler des traces de fatigue du matériau. Les membranes d'étanchéité en PCV risquent d'être perforées au moyen d'instruments pointus; les endroits les plus vulnérables se trouvent autour de l'équipement situé sur le toit.

iv) Membranes d'étanchéité en MEPD. Tout comme les membranes d'étanchéité en PCV, les membranes d'en MEPD réagissent aux dérivés du pétrole. Toutefois, elles ne sont pas sujettes au rétrécissement car elles jouissent d'une bonne stabilité dimensionnelle. Les joints sont très importants et doivent être inspectés en tentant de les séparer en divers endroits. Les vides dans l'isolant en polystyrène sous la membrane d'étanchéité (le cas échéant) peuvent être attribuables au déversement de liquide nettoyant pour les joints lors de la pose, les solvants qui y sont contenus faisant dissoudre le polystyrène.

Si la membrane en MEPD est posée en détaché et protégée par des gravillons, inspecter les coins pour voir s'il y a des dommages dus au vent

repoussant tout lestage et inspecter les joints en balayant les gravillons. Si elle est posée en adhérence, vérifier les dimensions et l'emplacement des surfaces décollées, et si elle est fixée mécaniquement, s'assurer que les fixations sont bien solides et qu'elles ne sont pas desserrées par des battements de vent.

v) Couverture à membranes d'étanchéité protégées. Il est difficile et parfois même impossible d'inspecter la membrane d'étanchéité et les solins de base d'une couverture à étanchéité protégée. Il existe trois types de membranes d'étanchéité protégée:

1) système avec lestage normal sur une membrande d'étanchéité multicouche. L'isolant adhère normalement à la membrane, rendant ainsi l'inspection impossible.

2) lestage normal mais isolant posé en dégagé sur une membrane en bitume appliquée à chaud. Une couche de séparation comme le polyéthylène ou un feutre bitumé est posé sur la membrane pour empêcher l'adhérence avec l'isolant. On peut avoir accès à la membrane d'étanchéité pour inspection, mais après il faudra couper et réparer la feuille de séparation.

3) système à lestage réduit où l'isolant est posé en dégagé avec une toile entre le lestage et l'isolant pour maintenir l'isolant en place en cas de flottaison. On a accès à la membrane d'étanchéité, mais il faut couper la toile et il faudra une pièce de rechange plus grande (recouvrement de 300 mm sur tout le pourtour) pour la réparation après l'inspection. Il est évident que l'on ne peut pas inspecter toute la surface car le travail demanderait de tout balayer les gravillons. Il faut choisir les endroits de façon à permettre l'inspection simultanée d'autres composants, comme les solins le long des murs extérieurs.

S'il s'agit d'un système à lestage normal, ajouter des gravillons sur les panneaux isolants qui flottent. Vérifier les coins pour voir s'ils ne sont pas dégarnis de son lestage sous l'effet du vent.

Signaler les outils, matériaux et déchets laissés sur le toit par le personnel d'entretien ou les entrepreneurs. Illustrer l'emplacement des flaques d'eau sur un plan de couverture. Vérifier tous les parapets et tous les murs en surélévation. Vérifier les solins travers le mur ainsi que les chantepleures dans les murs en maçonnerie. Inspecter les joints de mortier pour voir s'ils sont détériorés et les murs pour y déceler des fissures. Les joints entre les pierres de couronnement doivent être bien étanches. Indiquer dans le rapport les dommages causés par les cycles de gel/dégel.

3.1.1.3 Évaluation

Évaluer de façon générale la performance de la couverture du point de vue de la conception, de l'installation et des composants. Si un défaut ou une lacune quelconque

est difficile à justifier, il faudra peut-être effectuer une étude plus approfondie pour en déterminer la cause et corriger la situation.

3.1.1.4 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Un technologue spécialisé dans le domaine devrait pouvoir inspecter une surface de 1000 à 2000 m² par jour, documenter, et préparer un rapport, selon la complexité des travaux exigés et des difficultés imposées.

3.1.1.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Toutes les observations et données relatives aux réparations et aux observations doivent être soulignées sur un plan de couverture au moyen d'une grille de 3 m x 3 m.

3.1.2 **Analyse des plans et des archives**

3.1.2.1 Description des techniques

Indiquer sur le plan de la couverture les pénétrations, les détails des solins, et les matériaux de couverture comme le pare-vapeur, le type et l'épaisseur de l'isolant, le type de la membrane d'étanchéité, l'équipement situé sur le toit, l'emplacement des passages spéciaux, s'il y a lieu, les mâts de drapeaux, le matériel destiné au lavage des vitres ainsi que les antennes.

Consulter les rapports d'inspection préparés au moment de la pose de la couverture et inclure des données portant sur des phénomènes inhabituels comme des orages soudains, une température exceptionnelle (très chaude ou très froide), des dommages causés par d'autres lors de l'installation du toit ou de la construction du bâtiment lui-même, ainsi qu'une copie des devis. Inscrire le nom de l'entrepreneur en couverture ainsi que celui du surintendant et du contremaitre, au cas où il faudrait obtenir des précisions supplémentaires.

3.1.2.2 Démarche détaillée

a) Structure

Examiner avec soin les plans pour déceler les mouvements différentiels possibles entre les composants ou une flèche excessive d'un élément. S'assurer que les éléments du support sont fixés de manière à résister au soulèvement dû au vent de même qu'au glissement latéral.

b) Mécanique

Vérifier si la taille et l'emplacement des avaloirs sont conformes aux plans mécaniques. Les bâtiments et parties de bâtiments avec parapets avec un seul avaloir doivent être munis d'un dispositif de trop-plein en cas de blocage de l'avaloir.

c) Résistance thermique

Dessiner une coupe du toit, identifier chacun des composants, déterminer leur résistance thermique et calculer la résistance totale de la couverture, y compris la résistance des pellicules d'air.

3.1.2.3 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Un expert en bâtiment prendra environ deux jours pour effectuer une analyse détaillée des plans d'une couverture de 4000 m² de surface. Il faudra compter plus de temps s'il faut étudier les dossiers de réparation et d'entretien de la couverture.

3.1.2.4 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Toutes les données doivent être illustrées sur le plan de couverture, au moyen d'une grille de 3 m.

3.2 ÉTAPE II – TECHNIQUES SIMPLES DE MESURES

Cette section est sans objet.

3.3 ÉTAPE III – MONITORAGE DÉTAILLÉ ET SPÉCIALISÉ

3.3.1 Description des techniques

Dans un système traditionnel, l'humidité qui se trouve entre le pare-vapeur et la membrane d'étanchéité peut nuire au rendement de la couverture de deux façons:

a) un isolant humide a une moins bonne résistance thermique, ce qui augmente les pertes de chaleur;
b) les feutres organiques sont endommagés s'ils sont exposées à une combinaison de températures et humidités élevées, ce qui provoque la fissuration de la membrane au-dessus des joints dans l'isolant.

En cas de fuite d'une membrane d'étanchéité ou d'un solin, il sera peut-être nécessaire d'effectuer des essais sur place pour évaluer l'état à l'intérieur du système; ces essais sont partagés en deux groupes, les essais destructifs et les essais non destructifs.

3.3.2 Démarche détaillée

3.3.2.1 Techniques destructives

- **Essais par découpage** – Ce sont des essais destructifs qui peuvent fournir des données utiles. Ils permettent:

  a) d'évaluer la qualité de l'adhérence entre les composants;
  b) de déterminer le point de ramollissement de l'asphalte;
  c) d'évaluer la quantité totale d'asphalte utilisé (dans les feutres, les couches entre les feutres et la couche finale) et de comparer la valeur totale à la valeur initial de conception; et
  d) de déterminer la teneur en humidité de l'isolant.

Cette technique présente toutefois certains inconvénients importants: il faut plusieurs essais avant de pouvoir déterminer avec certitude l'état de la couverture et en plus, les

grandes ouvertures pratiquées aux fins de l'essai (généralement de 300 mm de diamètre) sont difficiles à rapiécer. Cette technique peut faire plus de mal que de bien en temps que tel.

- **Sonde à résistance.** Des tiges reliées à un appareil de mesure du taux d'humidité à résistance électrique sont enfoncées à travers la membrane d'étanchéité dans l'isolant; l'appareil enregistre une lecture. Pour permettre à l'opérateur d'interpréter les données, l'appareil de mesure doit avoir été étalonné au préalable en utilisant de l'isolant du même type que l'isolant mis à l'essai. Les tiges laissent deux petits trous dans la membrane qu'il faut obturer par la suite.

- **Carottes de 50 mm.** Elles sont découpées au moyen d'un instrument conçu à cette fin et servent à vérifier la présence d'humidité, détectée par des techniques non destructives. Il faut bien sceller après l'essai l'ouverture laissée dans la membrane d'étanchéité.

3.3.2.2 Techniques non destructives

Il existe trois méthodes non destructives pour déceler la présence d'humidité dans les couvertures de type traditionnel et leur utilité est fonction du type d'isolant contenu dans la couverture. Les isolants en fibres (bois et verre) absorbent l'humidité plus facilement que les isolants en plastique; les résultats obtenus avec ceux-ci peuvent donc se révéler plus concluants. L'utilité de ces trois méthodes est établie, mais des essais effectués en laboratoire par le Bureau national de normalisation en 1981 ont démontré que le nucléaire et l'infrarouge ont fourni de meilleurs résultats que la méthode à capacitance électrique. Voici une brève description:

- **Mesure de l'humidité par méthode nucléaire.** Cette technique consiste à faire rebondir des neutrons par l'appareil de mesure sur les atomes d'hydrogène contenus dans l'humidité de l'isolant et à enregistrer le phénomène de rétrodiffusion qui en découle. Des lectures élevées dénotent des teneurs en hydrogène élevée. Comme l'asphalte renferme des atomes d'hydrogène, les variations de quantité d'asphalte entre les couches d'un point de la grille à un autre influeront sur les lectures. Les mesures sont effectuées selon une grille préétablie puis tracées sur un plan miniaturisé de la couverture. Les mesures d'intensité correspondante peuvent être jointes pour délimiter les surfaces humides. Pour confirmer les résultats, il suffit de prélever des échantillons de surfaces identifiées comme étant humides ou sèches. L'expérience joue un rôle important dans l'évaluation des résultats, qui peuvent varier de "indéterminés" à "excellents".

- **Capacitance électrique.** L'appareil projette un champ électrique statique, et le champ est émis et reçu par deux plaquettes posées sur la membrane d'étanchéité; le champs prend la forme d'un "U" allongé. Cette technique peut être utilisée jusqu'à une profondeur de 100 mm mais elle est plus sensible à la présence d'eau en surface. Comme on connaît la résistance des divers matériaux à l'état sec, les écarts mesurés dans les propriétés dialectriques du

système peuvent être attribués à la présence d'humidité dans les matériaux. Les lectures sont effectuées sur le toit, à des points prédéterminés sur la grille.

Les relevés de lecture et la description de la couverture sont acheminés à un bureau central pour y être analysé par ordinateur. Le propriétaire reçoit ensuite un rapport. Étant donné que le procédé est protégé par un brevet, peu de données quantifiables ont été publiées. Certains arguments avancés par les promoteurs demeurent sans fondement, comme la possibilité de déterminer la teneur en humidité dans chacune des quatre feutres d'une membrane d'étanchéité multicouche.

Certains éléments nuisent à l'application de la technique: accumulation d'eau sur la membrane d'étanchéité, les composés noirs de carbone dans les membranes d'étanchéités MEPD, les pellicules métalliques laminées aux bitumes modifiés qui altèrent le champ électrique ainsi que les gravillons protégeant les membranes posées en dégagé et devant être enlevée avant la mise en place de l'appareil.

- **Rayonnement infrarouge.** Les détecteurs à infrarouges décèlent la température de la couverture. L'isolant humide fait augmenter les pertes thermiques, entraînant ainsi une hausse de la température superficielle de la couverture. L'appareil ne fournit pas de lectures comme telles; les résultats sont représentés sous forme d'ombres lumineuses sur un écran vidéo. Ce ne sont pas seulement les surfaces humides qui illuminent l'écran, mais aussi les cheminées, les ventilateurs d'extraction, les dispositifs de chauffage au plafond, les divers types et épaisseurs d'isolant dans le toit, les surfaces recouvrant des espaces ou des tuyaux dégageant de la chaleur. Ces éléments peuvent tous servir à l'analyse des résultats et on peut ensuite délimiter les surfaces renfermant de l'isolant humide au moyen de peinture pulvérisée.

4. RÉFÉRENCES

Les publications suivantes peuvent être consultées pour de plus amples renseignements:

Baker, M.C., **Les Nouveaux Matériaux de Couverture**. (Note d'Information sur la Construction no 50.) Ottawa: Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches (CNR). 12 pages.

Bakerm M.C., **Roofs. Design, Application and Maintenance**. Québec, Montréal: Multiscience Publications Limited. 362 pages.

Travaux publics Canada, **Inspection et entretien des couvertures**. (No 6.330.5) Ottawa: Entretien des installations, Gestion immobilière, Administration centrale. 1985.

Travaux publics Canada, **Rapport de l'Étude des Toîts Plats**. Ottawa: Entretien des installations, Gestion immobilière, Administration centrale. 1985.

Les Digests de la construction du Canada (DCC) ci-dessous peuvent être obtenus auprès de l'Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches (CNR) à Ottawa.

CBD 99F **Application des notions fondamentales pour la conception des toîtures** (par G.O. Handegord et M.C. Baker)
CBD 150F **Toîts à étanchéité multicouches protégée** (par M.C. Baker)
CBD 151F **Évacuation des eaux pluviales des couvertures** (par M.C. Baker)
CBD 176F **Ventilation des toîtures-terrasses** (par M.C. Baker et C.P. Hedlin)
CBD 179F **Inspection et entretien des toîtures-terrasses** (par C.P. Hedlin)
CBD 181F **Rétrécissement des membranes bitumineuses** (par R.G. Turenne)
CBD 202F **Les joints dans les couvertures bitumineuses classiques** (par R.G. Turenne)
CBD 211F **Étanchéités multicouches de toîtures – considérations pratiques** (par R.G. Turenne)
CBD 235F **Membranes d'étanchéité monocouches** (par H.O. Laaly et O. Dutt)

Les normes suivantes s'appliquent aux matériaux ci-dessous:

Bitume

CSA A123.4-M1979 **Bitumen for use in Construction of Built-up Roof Coverings etc.**

Feutres

CSA A 123.3-M1979 **Asphalt or Tar Saturated Roofing Felt**

Isolant

ACNOR A247-M1978 **Panneaux de fibres isolants**
ONGC 51-GP-20M **Polystyrene expanse**
ONGC 51-GP-21M **Uréthane et isocyanurate, sans revêtement**
ONGC 51-GP-25M **Phénolique, avec revêtement**
ONGC 51-GP-26MP **Uréthane et isocyanurate, panneaux revêtus**

Membranes d'étanchéité

ONGC 37-GP-50M	**Bitume caoutchouté, appliqué à chaud, pour le revêtement de toitures et pour l'imperméabilisation à chaud**
ONGC 37-GP-51M	**Application à chaud du bitume caoutchouté, pour le revêtement de toîtures et l'imperméabilisation à l'eau**
ONGC 37-GP-52M	**Membrane d'élastomère en feuilles pour le revêtement de toitures et l'imperméabilisation à l'eau**
ONGC 37-GP-54M	**Membrane en feuilles souples de polychlorure de vinyle pour le revêtement de toîtures et l'imperméabilisation à l'eau**
ONGC 37-GP-55M	**Application de la membrane en feuilles souples de polychlorure de vinyle pour le revêtement des toîtures**
ONGC 37-GP-56M	**Membrane bitumineuse modifiée, préfabriquée et renforcée, pour le revêtement des toîtures**

5. ANNEXES

5.1 DESCRIPTION DES DIVERS DÉFAUTS INHÉRENTS AUX MEMBRANES D'ÉTANCHÉITÉ MULTICOUCHES

Plissement – Plis se produisant dans la membrane à l'endroit d'un joint continu dans l'isolant et dans le sens longitudinal des feutres, à la suite de la dilatation et de la contraction de la membrane sous l'effet de la chaleur et du froid et de l'application d'une quantité excessive de bitume entre les feutres entraînant le glissement des feutres superposées. Cette condition risque de se présenter dans le cas des toitures mises en oeuvre par temps froid plutôt que par temps chaud, à cause du refroidissement accéléré du bitume. Même si les devis prévoient une tolérance de 25 % pour les quantités de bitumes, les mesures faites sur place démontrent que cette valeur atteint parfois de 75 % à 100 %. Il est quasi impossible de réparer les plissements au moment de leur apparition initiale. Par contre, ils risquent de se fendre à long terme; il faut alors les couper et réparer la membrane d'étanchéité pour éviter les dommages.

Fissuration – Ruptures dans initiale la membrane, se produisant généralement par temps froid (il est possible qu'elles ne soient décelées que par temps doux). La plupart des fissures se produisent à l'endroit des joints continus dans l'isolant et dans le sens longitudinal des feutres.

L'expérience a démontré que l'humidité dans une couverture peut s'attaquer à la sous-face de la membrane d'étanchéité et altérer ainsi progressivement les feutres. Une membrane altérée peut se fissurer sous l'influence des contraintes de traction entraînées par le froid.

L'accumulation de glace sur le toit peut aussi provoquer la rupture de la membrane d'étanchéité; c'est d'abord la glace qui se rupture de façon irrégulière, puis la membrane, qui subit elle aussi la même courbe de rupture. Ce problème risque de se produire s'il pleut sur une toiture couverte de neige, avec refroidissement subséquent des températures. La neige absorbe l'eau de pluie et en empêche l'évacuation. Dans les régions exposés à la pluie, à la neige et au froid en hiver, la couche de glace accumulée peut atteindre de 150 à 200 mm. La glace se rompt par temps froid à la suite de contraintes de traction provoquées par la chute des températures. Il faut donc inspecter régulièrement les couvertures pour y déceler la présence de glace.

Les fissures se produisent aussi aux endroits soumis à des contraintes élevées, les angles rentrants par exemple. Il s'agit en fait de déchirures; la membrane d'étanchéité aboutissant au mur se contracte et la membrane en continu ne bouge pas. Même après la réparation de la fissure originale, la membrane peut continuer à se déchirer à moins que des mesures appropriées soient prises pour la fixer solidement et éliminer les mouvements.

Rétrécissement – Une membrane d'étanchéité multicouche doit être bien fixée à son support pour éviter les risques de rétrécissement. Tous les matériaux de construction se dilatent et se contractent sous l'effet des variations de températures; la plupart ne devraient pas d'ailleurs être entravés. Par contre, une membrane multicouche, en tant

que matériau viscoélastique, est résistante en traction mais plutôt faible en compression. Si elle n'est pas bien fixée, elle se contractera en traction mais ne reprendra pas sa forme originale en compression. Ceci peut causer le rétrécissement progressif de la membrane d'étanchéité qui se décollera des rives du toit et provoquera la rupture des solins. Comme la membrane adhère généralement bien à l'isolant à cause de la couche de bitume, le glissement se produit à l'endroit du joint d'adhérence entre l'isolant et le platelage et est attribuable soit à l'incompatibilité des matériaux ou à des erreurs de conception ou d'exécution. Lors des travaux de réparation, il convient d'abord de fixer la couverture au support au moyen de fixations mécaniques enfoncées le long d'une bande de 1200 mm de largeur.

Boursouflure – Dans une membrane d'étanchéité multicouche, les boursouflures peuvent apparaître entre la membrane d'étanchéité et de l'isolant. Les boursouflures entre les couches ne sont pas en contact avec l'air et par conséquent ne grossissent pas et présentent peu de problèmes. Les boursouflures sur la surface de contact ou certaines boursouflures entre les feutres sont liées à l'isolant et peuvent grossir étant donné qu'elles sont en contact avec l'air; leur croissance est fonction de la qualité de l'adhérence en périphérie de la cloque. Elles ne sont en fait que le prolongement de la lame d'air comprise sous la membrane.

Peau de Crocodile – Le bitume n'est pas résistant aux rayons ultraviolets. Les huiles légères s'évaporent et d'autres molécules se fractionnent et s'érodent. La diminution en volume qui en résulte provoque la formation de fissures dans l'enduit, qui augmentent suivant son épaisseur. Le bitume doit être protégé par des gravillons ou par un revêtement réfléchissant.

Glissement – Les deux principales considérations en rapport au glissement sont la pente de la couverture et le type et la quantité d'asphalte utilisé. Comme nous l'avons mentionné plus haut, il existe trois types d'asphalte au Canada, chacun convenant à des pentes déterminées. Si les pentes sont trop accentuées ou si la quantité d'asphalte utilisée pour une pente donnée est supérieure aux exigences, il peut y avoir risques de glissement.

Déplacement des gravillons sous l'effet du vent – À l'endroit des angles exposés aux vents violents, la turbulence peut causer le déplacement et la perte des gravillons. L'asphalte est alors exposé au rayonnement solaire ou les gravillons d'une membrane d'étanchéité protégée sont complètement balayés par le vent, augmentant les risques d'arrachement. Il faut inspecter régulièrement les angles des couvertures, particulièrement ceux qui sont soumis à des vents violents.

5.2 RÉSISTANCE THERMIQUE OPTIMALE DES COUVERTURES

La crise de l'énergie des années 70 et l'augmentation des coûts énergétiques nous ont fait prendre conscience de la nécessité de mieux isoler les bâtiments. Mais comment mieux est la question que l'on pose souvent.

La plupart des toits plats ont une durée de vie limitée, généralement d'au plus 20 ans, et présentent souvent des fuites avant d'être remplacés de sorte que l'isolant se mouille

et devient inefficace. Tout comme le coût des combustibles, les conditions climatiques varient selon les régions. Toute étude du coût de la vie doit prendre en considération divers facteurs, ce qui fait que les résultats varient d'une étude à une autre. La présente Annexe ne vise pas à fournir une solution unique mais plutôt à présenter quelques ouvrages à consulter.

1) En 1983, le Comité associé du Code national du bâtiment a publié un document intitulé "Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments". Le tableau ci-dessous renferme les valeurs de résistance thermique minimales de divers composants de bâtiments, pour une gamme de degrés-jours donnée. Voici les valeurs applicables aux toits de construction incombustible (en général, il s'agit de toits plats):

Degrés-jours	3500	5000	6500	8000 et plus
RSI	2,6	3,1	3,5	3,9

2) Eric Burnett, Directeur du Groupe d'étude en génie du bâtiment (Building Engineering Group) de l'Université de Waterloo, a étudié, pour le compte de l'énergie des mines et ressouces (EMR), l'aspect économique de l'amélioration du rendement thermique des toits plats. L'étude tient compte de divers facteurs comme les coûts de fourniture et de mise en place de l'isolant ainsi que les coûts des travaux de modification, par exemple le rehaussement des relevés, des bandes de clouage et des parapets pour accommoder l'épaisseur croissante de l'isolant. L'étude illustre deux périodes d'amortissement (5 et 10 ans) et est fondée sur les coûts réels des combustibles dans les diverses régions du pays. C'est ce qui explique qu'au tableau ci-dessous, Calgary se classe au deuxième rang du point de vue du nombre de degrés-jours parmi les villes citées, tout en se trouvant au dernier rang pour la quantité d'isolant nécessaire.

Location	Halifax	Montréal	Toronto	Winnipeg	Calgary	Vancouver
Degrés-jours	3880	4538	3646	5871	5321	2924
RSI - 5 ans	1,85	1,56	1,32	1,46	1,09	1,03
RSI - 10 ans	2,61	2,21	1,86	2,06	1,54	1,46

3) Une étude parrainée par le Air Force Engineering and Services Center et effectuée par le Oak Ridge National Laboratory a révélé que la valeur R maximale, à laquelle les coûts à long terme sont les plus bas, se situe entre R-10 (chauffage au gaz, de coût peu élevé) et R-25 (chauffage au mazout et à l'électricité, de coût plus élevé). L'étude a aussi démontré que les isolants d'une valeur R-33 n'étaient pas rentables économiquement s'ils étaient mis en place sur le support. Cette étude s'applique à toutes les régions des États-Unis, y compris l'Alaska.

Pour plus d'informations, veuillez consulter les références suivantes:

1. Comité associé du Code national du bâtiment. **Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments: NRCC No 22421**. 1983.

2. Burnett, E.F.P. and Harrison, C. **Flat Roof Thermal Retrofit**. Réunion de la troisième Conféfence organisée par CSCE sur la science du bâtiment et de la technologie. Toronto: November 14 and 15, 1985, pp. 281–306.

3. Oak Ridge National Laboratory. **Economic Anasysis of Insulation Materials used in Low Slope Building Roof Systems**.

5.3 LISTE DE DOCUMENTS ÉVALUANT LE RENDEMENT DES IMMEUBLES

Dans cette série, les documents sont subdivisés en quatre classes différentes. Les documents de classe A donnent des explications à savoir comment utiliser les documents des trois autres classes. La classe B est un répertoire d'essais lequel inclut un index et des références. Les documents de classe C donne un compte rendu des trois domaines d'évaluation et résume les documents de classe D dans leur domaine respectif. Les documents de classe D contiennent une description des attributs du rendement des immeubles et donnent les méthodes pour les évaluer.

	A1	Guide du directeur de projet
	A2	Guide du gérant d'immeuble
	B1	Répertoire d'essais
Relevé	C1	Rendement énergétique et environnemental
	C2	Rendement fonctionnel
	C3	Rendement des systèmes et du matériel
Rendement énergétique et environnemental	D01	Évaluation des polluants
	D02	Migration de la pollution
	D03	Évaluation de l'ambiance thermique
	D04	Évaluation globale: rendement énergétique
	D05	Évaluation des secteurs de consommation: rendement énergétique
	D06	Évaluation des installations et systèmes: rendement énergétique
	D07	Évaluation des améliorations: rendement énergétique
	D08	Évaluation de l'environnement acoustique
	D09	Évaluation de la circulation d'air
	D10	Évaluation de l'éclairage
	D11	Relevé des données atmosphériques
Rendement fonctionnel	D20	Analyse des documents et archives
	D21	Annotation des plans
	D22	Entrevues centrées
	D23	Questionnaires
	D24	Observations
Rendement des systèmes et du matériel	D30	Murs et colonnes structuraux: relevé de la condition
	D31	Dalles et toits structuraux: relevé de la condition
	D32	Garages de stationnement: relevé de la condition
	D33	Évaluation des installations mécaniques
	D34	Évaluation des contrôles mécaniques
	D35	Évaluation des systèmes électriques
	D36	Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air
	D37	Mesure de la vitesse d'échange d'air extérieur
	D38	Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble
	D39	Mesure de la résistance thermique
	D40	Inspections de la teneur en humidité
	D41	Évaluation des systèmes de couvertures